

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Bc. JAKUB DUPKALA

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

KATEDRA TELEKOMUNIKAČNEJ TECHNIKY

STUDIUM VLASTNOSTÍ FIXAČNÍCH MATERIÁLŮ
OPTICKÝCH VLÁKEN ZA ZVÝŠENÉ TEPLoty
POMOCÍ DSTS

STUDY OF FIXING MATERIAL PROPERTIES FOR
OPTICAL FIBERS UNDER HIGHER TEMPERATURE
WITH THE HELP OF DSTS

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Dupkala**

Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601T013 Telekomunikační technika

Téma: Studium vlastností fixačních materiálů optických vláken za zvýšené teploty pomocí DSTS
Study of fixing material properties for optical fibers under higher temperature with the help of DSTS

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Znalost fixačních vlastností materiálů pro optická vlákna a kabely, pomocí kterých jsou tato vlákna a kabely uchycována na podklady typu zdivo, podlahové materiály, dřevo, atp. je významná pro praktické nasazení vláknové optických distribuovaných senzorů. Diplomová práce je zaměřena na porozumění jevů a dějů, ke kterým zde dochází. Proto jsou úkoly v DP následující:

1. Proveďte rešerši týkající se možných způsobů uchycení optických vláken a kabelů pro senzorové aplikace.
2. Popište nelineární rozptyly v optických vláknech a metody založené na jejich využití pro senzorové aplikace.
3. Realizujte měřicí sestavu s využitím DSTS pro opakovanou uložení optických vláken a kabelů s cílem dosáhnout minimálních rozptylů.
4. Realizujte měření Brillouinovských frekvencí pro různou kombinaci podkladových a fixačních materiálů za zvýšených teplot v rozsahu 20oC-80oC.
5. Analyzujte dosažené výsledky z hlediska reprodukovatelnosti uchycení.

Seznam doporučené odborné literatury:

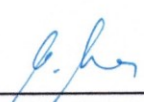
- [1]Rashvand,H.F., Calero,J.M.A.: Distributed Sensor Systems. John Wiley and Sons Inc., UK 2012, ISBN 978-0-470-66124-6.
- [2]Saleh,B.E.A., Teich,M.C.: Fundamentals of Photonics. 2nd edition, John Wiley and Sons Inc. Hoboken, New Jersey, 2007, ISBN: 978-0-471-35832-9.
- [3]Podle pokynů vedoucího DP.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.**

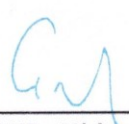
Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017



doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne
pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

V Ostrave dňa: 25. apríla 2017



.....
podpis študenta

Pod'akovanie

Rád by som sa pod'akoval prof. RNDr. Vladimírovi Vašinkovi, CSc. za všetky odborné rady, usmernenia a konzultácia pri tvorbe tejto diplomovej práce. Taktiež by som sa rád pod'akoval Ing. Jakubovi Jarošovi a Ing. Marcelovi Fajkusovi za pomoc pri meraní so systémom DSTS. Posledné pod'akovanie patrí môjmu spolužiakovi a taktiež aj kolegovi pri meraní Bc. Jozefovi Bugáňovi.

Abstrakt

Cieľom mojej diplomovej práce je výskum fixačných materiálov vhodných pre optické vlákna za zvýšených teplôt. V práci rozoberiem a vysvetlím problematiku fixácie optických vlákien pri meraniach s pomocou meracieho prístroja DSTS. Meranie prebiehalo v dvoch častiach. V prvej časti boli odmerané odtrhové a zostatkové sily fixačných materiálov pomocou silomeru. Fixovanie bolo realizované pre dve rozličné optické vlákna na šiestich rôznych materiáloch. Na samotnú fixáciu týchto optických vlákien bolo použité päť rôznych fixačných pásov. Meranie bolo realizované v troch rôznych časových okamihoch a to v momente od nalepenia fixačnej pásky s vláknom na materiál, následne po 48 hodinách a nakoniec po 168 hodinách od fixácie. Týmto spôsobom sme mohli určiť predpoklad chovania sa jednotlivých fixačných pásov na materiáloch v čase starnutia. V druhej časti meranie prebehlo pomocou prístroja DSTS, ktorý je založený na meraní stimulovaného Brillouinovho rozptylu. Cieľom merania bolo zistiť možnú súvislosť medzi odtrhovými silami a Brillouinovými frekvenciami a zistiť akým fixačným materiálom je najvhodnejšie fixovať senzorové optické vlákna za pokojových a zvýšených teplôt. Namerané výsledky sú uvedené v grafoch a tabuľkách. Pre množstvo výsledkov sú kompletne tabuľky uvedené v prílohe diplomovej práce.

Kľúčové slová

Fixačné pásky, podlahové materiály, Brillouinové frekvencie, odtrhová sila, DSTS, silomer, senzorové optické vlákno

Abstract

The aim of my diploma thesis is the research of fixing materials suitable for optical fibers at elevated temperatures. In this thesis I will explain the issue fixation of optical fibers by measuring device DSTS. The measurement was carried out in two parts. In first were measured tear-off and the residual strengths of fixation materials using dynamometer. Fixing was carried out for two different optical fiber on six different materials. For the fixing of these optical fibers were used five different fixation tapes. The measurement was performed at three different times and at the time of sticking the fixing tape with the fiber material, then after 48 hours and up to 168 hours of fixation. In this way, we can determine the behavior of the individual assumption fixation tapes on materials during aging. In the second part of the measurement was used a device DSTS, which is based on stimulated Brillouin scattering measurements. The aim of the measurement was to investigate a possible link between the peel strength and Brillouin frequencies and find out which is the most suitable material to fix sensor fiber at room and elevated temperatures. The results are shown in graphs and tables. For a number of results are completed tables included in annex diploma thesis.

Key words

Fixing tapes, floor materials, Brillouin frequency, pluck strange, DSTS, dynamometer, sensor fiber

Obsah

Obsah.....	9
Úvod.....	11
1 Teoretický rozbor	12
1.1 Svetlo.....	12
1.2 Optické vlákno	12
1.2.1 Rozptyly	13
1.3 Metódy monitorovania založené na nelineárnych rozptyloch.....	16
1.3.1 DTS	17
1.3.2 DSTS	17
1.4 Použité materiály	20
1.4.1 Optické vlákna.....	20
1.4.2 Fixačné pásy	21
1.4.3 Podlahové materiály	22
2 Vypracovanie.....	24
2.1 Meranie odtrhovej sily pomocou silomeru.....	24
2.2 Zhodnotenie nameraných výsledkov	25
2.2.1 Výsledky merania pre vlákno číslo 1	25
2.2.2 Zhodnotenie.....	29
2.2.3 Výsledky merania pre vlákno číslo 2	32
2.2.4 Zhodnotenie.....	35
2.3 Meranie brillouinových frekvencií pomocou DSTS	37
2.3.1 Meranie pre vlákno č. 1	40
2.3.2 Zhodnotenie.....	45
2.3.3 Meranie pre vlákno č. 2	47
2.3.4 Zhodnotenie.....	52
2.4 Porovnanie odtrhovej sily a Brillouinovej frekvencie pri teplote 24 °C	54
2.4.1 Vlákno č.1	54
2.4.2 Vlákno č.2	55
Záver.....	57
Zoznam použitej literatúry	59
Zoznam príloh	61

Zoznam použitých skratiek

Skratka	Význam
DTS	Distributed Strain and Temperature System
DSTS	Distributed Temperature System
UV	Ultra Violet
OTDR	Optical Time Domain Reflectometer
BOTDR	Brillouin Optical Time Domain Reflectometry
BOTDA	Brillouin Optical Time Domain Analysis

Úvod

Aj napriek tomu, že už v dávnych dobách sa rozvíjal záujem o svetlo a neskôr aj o jeho využitie v optike, najväčší rozmach zažilo v tejto oblasti využitie svetla až na prelome 20. a 21. storočia. Odvtedy má na trhu obrovský význam využitie optiky pri výrobe optických vlákien, ktoré sa využívajú v rôznych oblastiach, či už v oblasti telekomunikácií, osvetlenia alebo jeho využitie v technike. Jedným z využití je tiež monitorovanie okolia, kedy sa optické vlákna využívajú ako snímače.

Pri monitorovaní okolia pomocou optických senzorov sa využívajú najmä nelineárne rozptyly, medzi ktoré zaradujeme Ramanov rozptyl a Brillouinov rozptyl. Sensory využívajúce Ramanov rozptyl – Distribuovaný snímač teploty (DTS, z anglického *Distributed Temperature Sensor*), sú založené na rozdieloch intenzity, na rozdiel od senzorov založených na Brillouinovom rozptyle – Distribuovaný snímač napätia a teploty (DSTS, z angl. *Distributed Strain and Temperature Sensor*), ktoré sú založené na rozdieloch vo frekvenciách.

Použitie senzorov DSTS má niekoľko výhod, ako je napríklad vysoká citlivosť, presnosť či možnosť uskutočňovať merania do veľkých vzdialeností.

1 Teoretický rozbor

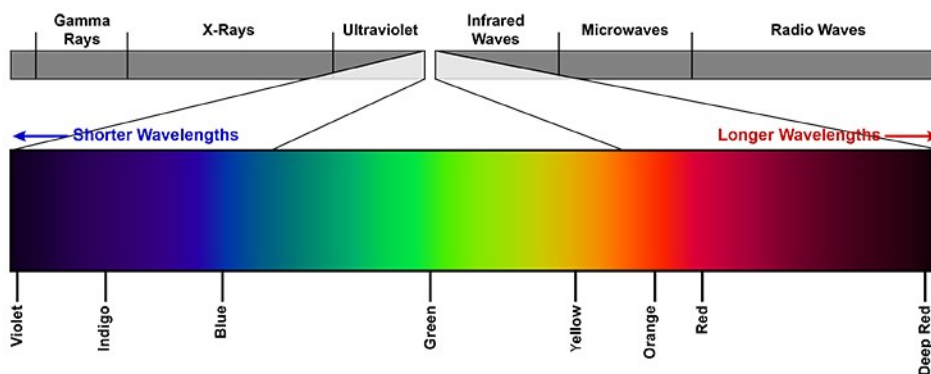
1.1 Svetlo

Už v dávnych dobách bolo svetlo javom, ktorým sa zaoberali mnohí vedci, snažili sa prisúdiť mu nejaký účel, no vtedy bolo pre nich problémom dať teóriám aj experimentálny podklad. Aj napriek tomuto nadišiel pokrok – usúdili, že svetlo sa pohybuje priamočiari, že sa odráža od lesklých povrchov a že uhol dopadu lúča sa rovná uhlu jeho odrazu. Takisto bolo známe, že keď medzi ľudské oko a zdroj svetla postavíme nepriehľadný predmet, svetlo sa oň zachytí a k oku sa nedostane (Tyndall, 1875).

Prvým prelomom pre využitie svetla ako zdroja informácií pomocou optických vlákien boli experimenty írského fyzika Johna Tyndalla, ktorý sa venoval experimentom so svetlom. V jednom zo svojich experimentov demonštroval lom svetla pri prechode cez ohýbajúci sa prúd vody (Tyndall, 1875). Neskôr bol tento jav sformulovaný ako Snellov zákon.

Zásadný prelom nastal po teoretických úvahách škótskeho matematika a fyzika Jamesa Clerka Maxwella, ktorý na základe pozorovania a porovnania elektromagnetického žiarenia so svetlom, zaradil svetlo k elektromagnetickému žiareniu. Vo svojom článku Maxwell (1865) dokazuje aj to, že elektromagnetickým poľom sa vibrácie šíria priečne. Týmto všetkým bol obrovským prínosom ako pre fyziku, tak aj pre optiku.

Elektromagnetické žiarenie zahŕňa rôzne druhy energií, medzi ktoré sa zaraďuje aj svetlo. Svetlom rozumieme časť elektromagnetického žiarenia, ktorú môžeme pozorovať voľným okom. Zdrojom svetla môže byť slnko, plameň ohňa či umelé osvetlenie, čo sa ďalej šíri odrazaním od predmetov. Vlnová dĺžka viditeľného svetla je v rozmedzí asi 380 – 780 nm. V optických vláknach sa využíva UV žiarenie, a teda žiarenie väčšej vlnovej dĺžky než viditeľné svetlo, v rozmedzí približne 800 – 1600 nm (www1), viď Obrázok 1.1.



Obrázok 1.1: Optické spektrum viditeľného svetla v porovnaní s ďalšími typmi elektromagnetického žiarenia

1.2 Optické vlákno

Optickým vláknom rozumieme väčšinou sklené, popri prípade plastové vlákno, ktoré je schopné prenášať signál pomocou žiarenia s čo najmenšími stratami. To sa šíri pozdĺž vlákna práve na základe úplného odrazu na rozhraní dvoch prostredí, ktoré majú rozdielny index lomu svetla.

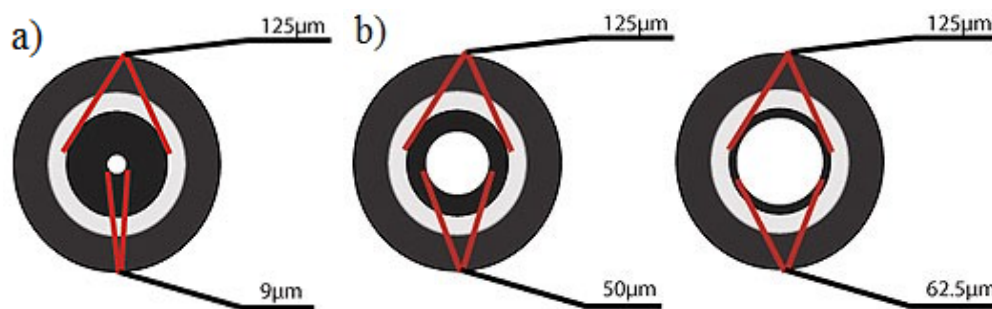
Svetlo, ktoré sa dostane do vlákna, prechádza z opticky redšieho prostredia – vzduch, s indexom lomu $n_v = 1$, do hustejšieho, a teda ide o lom ku kolmici. Snellov zákon hovorí:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_j}{n_v} \Rightarrow \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = n_j,$$

kde n_v a n_j sú indexy lomov vzduchu a jadra a $\sin \theta_1$ a $\sin \theta_2$ sú uhlom dopadu a uhlom odrazu. V prípade, že lúč dopadne v uhle väčšom ako je medzný uhol, svetlo sa odrazí späť do vlákna a nedôjde k strate energie, ako je tomu v prípade, že uhol dopadu je menší ako medzný uhol.

Pri prenose optickým vláknom dochádza k útlmu, a teda k zoslabeniu sily signálu na konci kábla. Tento útlm môže vzniknúť viacerými spôsobmi – stratami, medzi ktoré môžeme zaradiť ohybové, absorpčné straty a straty rozptylové. Ohybové straty vznikajú v dôsledku ohybu vlákna, absorpčné straty sú zapríčinené absorbovaním svetla materiálom vlákna a rozptylové straty vznikajúce v dôsledku nečistôt v optickom vlákne, ktoré sa pri tomto deji rozptýli všetkými smermi. Optické vlákna je možné použiť ako senzory práve na základe lineárnych a nelineárnych rozptylov.

Optické vlákna môžu byť jednomódové alebo viacmódové. Jednomódové vlákno má malý priemer jadra, čo dovoľuje šíriť len 1 režim svetla. Dôsledkom toho je, že množstvo odrazov vytvorených prúdením svetla cez vlákno klesá, čím sa znižuje útlm a signál sa dokáže preniesť na väčšiu vzdialenosť. Viacmódové optické vlákno má priemer jadra veľký, čo umožňuje svetlu šíriť sa viacerými režimami. Takýmto spôsobom sa zvyšuje množstvo odrazeného svetla vzniknutého prúdením cez vlákno, čo umožní, aby naraz v danom čase prešlo cez vlákno viac dát. V takomto type vlákna dochádza k vysokému rozptylu a útlmu, čo spôsobí zníženie kvality signálu na dlhé vzdialenosti (www2). Pre senzorové účely sa kvôli väčšej vzdialenosti dosahu využívajú jednomódové optické vlákna.

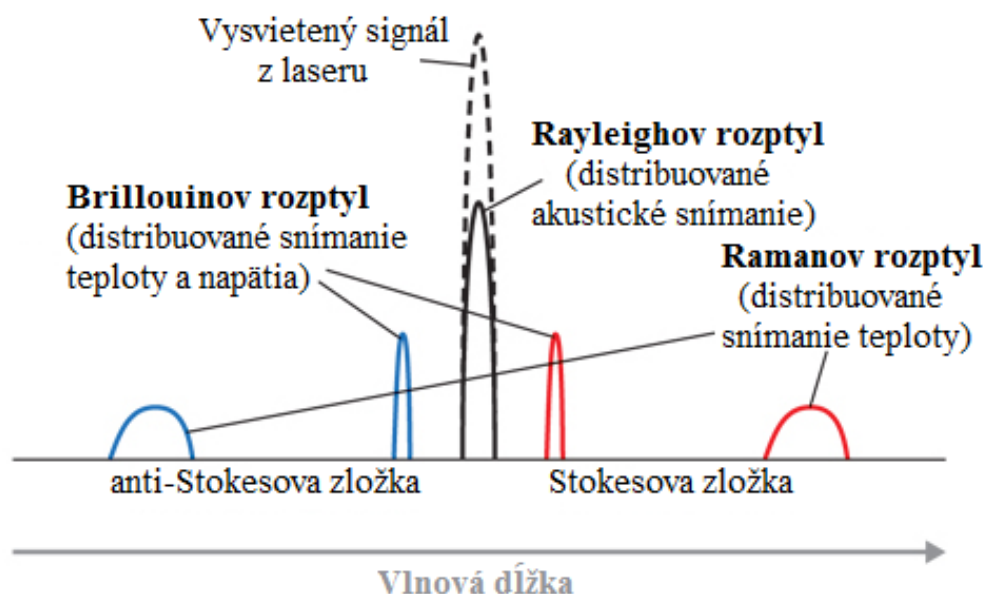


Obrázok 1.2: Rozdiel medzi jednomódovým a viacmódovým optickým vláknom (www2)

1.2.1 Rozptyly

Rozptyly môžeme rozdeliť na lineárne a nelineárne. Rozptýlené svetlo lineárneho rozptylu má rovnakú vlnovú dĺžku na rozdiel od nelineárneho, kde je vlnová dĺžka rozptýleného svetla iná.

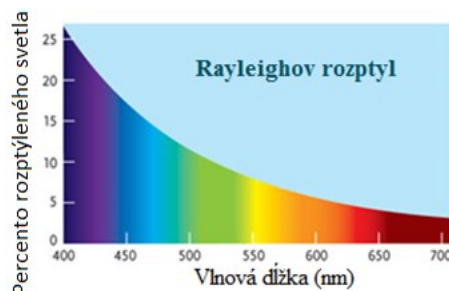
Medzi lineárne rozptyly patria Rayleighov rozptyl a Mieov rozptyl, medzi nelineárne zase Ramanov a Brillouinov rozptyl, obrázok 1.3 sumarizuje rozdielne efekty Rayleighovho, Ramanovho a Brillouinovho rozptylu v porovnaní s vyžiareným signálom lasera. Jednotlivým budú venované nasledujúce podkapitoly.



Obrázok 1.3: Porovnanie rozptylov v závislosti od vlnovej dĺžky (www3)

1.2.1.1 Rayleighov rozptyl

Vyššie spomenutý J. Tyndall vykonal aj experimenty s matným prostredím, ale vysvetlil ich až John William Rayleigh o 30 rokov neskôr. Dokázal, že intenzita rozptýleného svetla je nepriamo úmerná 4. mocnine vlnovej dĺžky. V prípade, že na rozptyľujúce prostredie dopadne monochromatické svetlo a zároveň nedôjde k zmene vlnovej dĺžky λ , ide o Rayleighov rozptyl (Dado a kol., 1998). Je založená na rozptyle svetla na čiastočkách menších ako vlnová dĺžka, pričom platí, že elektromagnetické žiarenie s menšou vlnovou dĺžkou podlieha Rayleighovmu rozptylu viac ako žiarenie väčších vlnových dĺžok, čo popisuje obrázok 1.4. Dôsledkom tohto rozptylu sú výkyvy indexu lomu vo vlákne.



Obrázok 1.4: Graf popisujúci vplyv Rayleighovho rozptylu na častice rôznej vlnovej dĺžky (upravené podľa Flanders a Creed, 2010)

1.2.1.2 Mieov rozptyl

Teóriu vypracoval v roku 1908 nemecký fyzik Gustav Mie, je založená na rozptyle svetla na časticách rovnako veľkých alebo väčších ako je vlnová dĺžka, a teda príčinami vzniku môžu byť mikroskopické bublinky vo vlákne, drobné nečistoty a pod.

Oproti Rayleighovmu rozptylu pojednáva o väčších časticách, ako je vidieť na obrázku 5, rozptyl je ostrejší a smerovaný viac dopredu než Rayleighov rozptyl.



Obrázok 1.5: Porovnanie Rayleighovho a Mieho rozptylu (upravené podľa www3)

1.2.1.3 Ramanov rozptyl

Držiteľom Nobelovej ceny za fyziku v roku 1930 je Chandrasekhara Venkata Raman za popis Ramanovho rozptylu, ktorý hovorí o tom, že fotóny interagujú s čiastočkami za vzniku rozptýleného svetla s nižšou alebo vyššou energiou. Za predpokladu, že fotón s energiou $E_F = \hbar \cdot \omega$ je absorbovaný molekulou, ktorá ho následne vyžiari vo forme iného fotónu s energiou $E'_F = \hbar \cdot \omega'_F$, kde frekvencia ω'_F je Stokesova zložka. Ak by sme vzťah popísali ako $E'_F = \hbar \cdot \omega'_F \pm \Omega$, kde Ω by bola energetickým rozdielom látky, tak v prípade kladnej hodnoty Ω by sme hovorili o anti-Stokesovom Ramanovom rozptyle, a teda fotóny rozptylového žiarenia by mali vyššiu energiu ako absorbované fotóny. A naopak, v prípade zápornej hodnoty, kedy energia fotónov rozptýleného žiarenia by bola nižšia ako energia absorbovaných, jav by sa nazýval Stokesov Ramanov rozptyl (Flanders a Creed, 2010; Zoltán a kol., 2003).

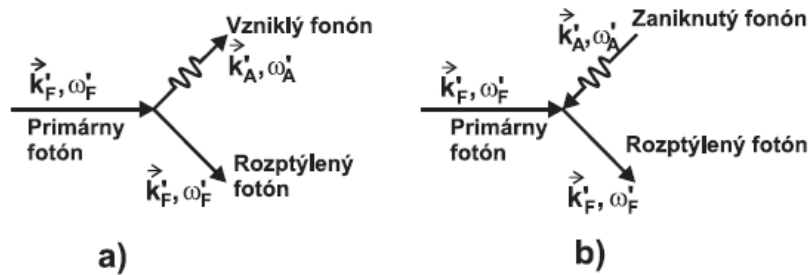
1.2.1.4 Brillouinov rozptyl

V plyne, kvapaline či tuhej látke môže elektromagnetická vlna interagovať s inými typmi vln – akustické vlny. Keďže ide o nelineárny rozptyl, dochádza k zmene vlnovej dĺžky svetla. Pri zmene hustoty alebo pri pružnej deformácii prostredia dochádza k zmene indexu lomu prostredia, z čoho vyplýva, že prítomnosť akustických vln môže vplývať na elektromagnetické vlny a ich šírenie sa. Tento jav sa nazýva Brillouinov respektíve Brillouinov-Mandelštamov rozptyl¹. Rayleighov a Mieov rozptyl tiež funguje na základe odlišných hustôt prostredia, ale v týchto ide o náhodné tepelné výkyvy, kdežto Brillouinov rozptyl vzniká na základe pravidelných výkyvov (prostredníctvom fonónov).

Fonón sa dá definovať ako jednotka alebo množstvo vibračnej energie, ktoré vzniká vďaka oscilácii atómov v kryštalickej mriežke. To produkuje mechanické vlny, ktoré šíria teplo a vlny cez materiál.

Z kvantovo-mechanického pohľadu na interakciu akustickej a optickej vlny, sa dá šíriace sa svetlo predstaviť ako súbor fotónov, pričom, ako bolo spomenuté v kapitole 1.2.1.3, energia jedného fotónu sa dá popísať vzťahom $E_F = \hbar \cdot \omega_F$, kde ω_F je kruhová frekvencia svetelnej vlny, \hbar je redukovaná Planckova konštanta. Akustickú vlnu môžeme charakterizovať ako súbor fonónov, ktorých energia je zase daná vzťahom $E_A = \hbar \cdot \omega_A$, pričom ω_A predstavuje kruhovou frekvenciu akustickej vlny. Takže dej z kvantového pohľadu popisuje fotón, ktorý umožňuje vznik nového fotónu a fonónu, poprípade fotón s fonónom umožňujú vznik nového fotónu, ale tým pádom fonón zaniká, vid' Obrázok 1.6 (Dado a kol., 1998).

¹ Brillouinov-Mandelštamov rozptyl – pomenované preto, že sa verí, že Leonid Mandelštam hovoril o tomto typu rozptylu ešte pred Léonom Brillouinom



Obrázok 1.6: Vznik a zánik fonónu, kde k_F je vlnový vektor fotónu (upravené podľa Dado a kol., 1998)

Spontánny Brillouinov rozptyl sa môže objaviť už pri slabom optickom výkone, čoho výsledkom je odrazenie fonónov vytvorených teplom. Pre vyšší výkon sa môže využiť stimulovaný Brillouinov rozptyl, čo môže prispieť k zvýšeniu počtu odrazených fonónov. V prípade intenzívneho svetelného lúča, ktorý prechádza optickým vláknom, samotný lúč vysiela akustické vibrácie, ktoré samé o sebe môžu spôsobiť Brillouinov rozptyl, zvyčajne v opačnom smere ako vyžiarený lúč.

Frekvencia dopadajúceho svetla je o niečo vyššia ako odrazeného. Rozdiel vo frekvencii zodpovedá frekvencii vyžiarených fonónov. Tento jav sa nazýva Brillouinov posun frekvencie, ktorý závisí od mechanického a tepelného stavu vlákna. Pre spontánny rozptyl vyjadruje rozptýlené svetlo na grafe ostrú odchýlku v bode frekvenčného posunu (ν_B):

$$\nu_B = \frac{2nV_a}{\lambda_o},$$

kde n zodpovedá indexu odrazu, V_a je akustická rýchlosť vlákna a λ_o je vlnová dĺžka dopadajúceho svetla vo vákuu. Z uvedeného vyplýva, že Brillouinov posun frekvencie je vo veľkej miere závislý od akustickej rýchlosti, pričom každá zmena rýchlosti má za následok spektrálny posun rezonancie. Teória elasticity (pre tuhé látky) ukazuje následnú závislosť pre akustickú rýchlosť:

$$V_a = \sqrt{\frac{K}{\rho}},$$

kde K je veľkosť modulu a ρ je hustota materiálu, ktorá je závislá od teploty, nakoľko dochádza k tepelnej expanzii. Z tohto dôvodu je možné vidieť ako sa pri zmene teploty na grafe vytvorí odchýlka. Takisto každá deformácia zaznamenaná vláknom má vplyv na jeho hustotu, čo poskytuje možnosť použiť vlákno aj na meranie napätia (Thévenaz, 2010).

1.3 Metódy monitorovania založené na nelineárnych rozptyloch

Senzory sú snímače, ktoré sú schopné detegovať, resp. snímať, fyzikálne alebo prírodné charakteristiky okolia. Tieto môžu byť elektrické alebo optické. Optické senzory sú schopné merať hocičo, čo zmení spôsob prúdenia alebo vlastnosti svetla vo vlákne.

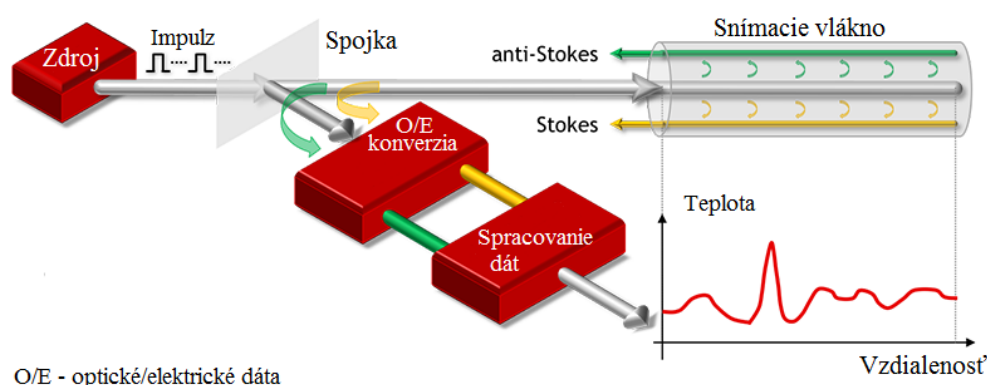
Na základe spôsobu využitia musia byť optické vlákna schopné vydržať určité podmienky, ako je napríklad vysoká teplota. Na neustále monitorovanie stavu vlákna v rôznom prostredí alebo pri rôznom zaťažovaní vlákien sa používajú rôzne distribuované senzory, ktoré detegujú fyzikálne vlastnosti ako je teplota alebo napätie (prípadne oboje) pozdĺž celého optického vlákna a v akomkoľvek mieste vlákna. Medzi distribuované systémy patria DTS – Distribuovaný senzor teploty (z anglického

Distributed Temperature Sensor) a DSTS – Distribuovaný senzor napätia a teploty (z anglického *Distributed Strain and Temperature Sensor*).

1.3.1 DTS

Distribuovaný snímač teploty (DTS) je založený na Ramanovom rozptyle. Vyslaním svetelného signálu s vysokou intenzitou nám v odrazenom svetle vytvorí dve zložky – Stokesovu a anti-Stokesovu (viď kapitola 1.2.1.3), pričom relatívna intenzita týchto dvoch zložiek je závislá od lokálnej teploty vo vlákne. V prípade, že je intenzita zaznamenávaná pri vyslaní aj po odrazení v závislosti od času, dá sa získať profil teploty pozdĺž celého vlákna (Sarfo, 2016).

DTS systém využíva optickú reflektometriu s časovou doménou – OTDR (z anglického *Optical time-domain reflectometry*). Táto metóda pozostáva z vysielania krátkych laserových impulzov do snímacieho vlákna a detekcie odrazeného Ramanovho signálu (www4), ako je možné vidieť na obrázku 7.

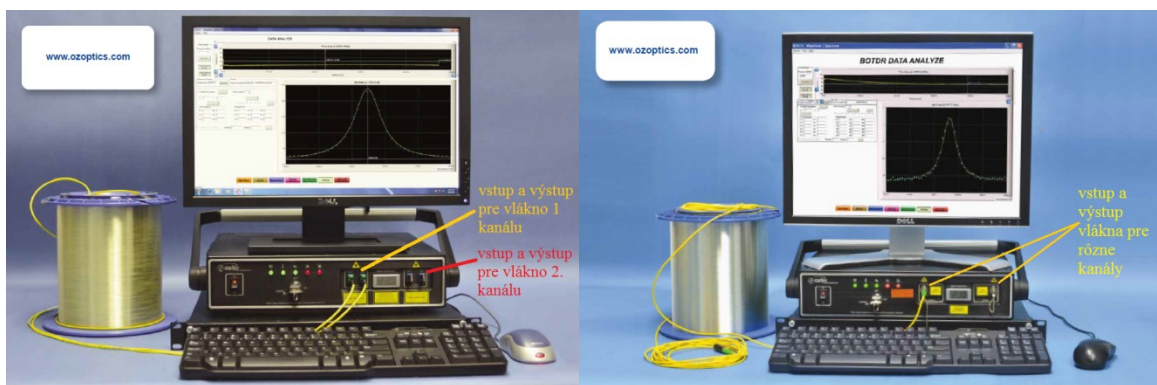


Obrázok 1.7: Princíp merania s OTDR (upravené podľa www4)

1.3.2 DSTS

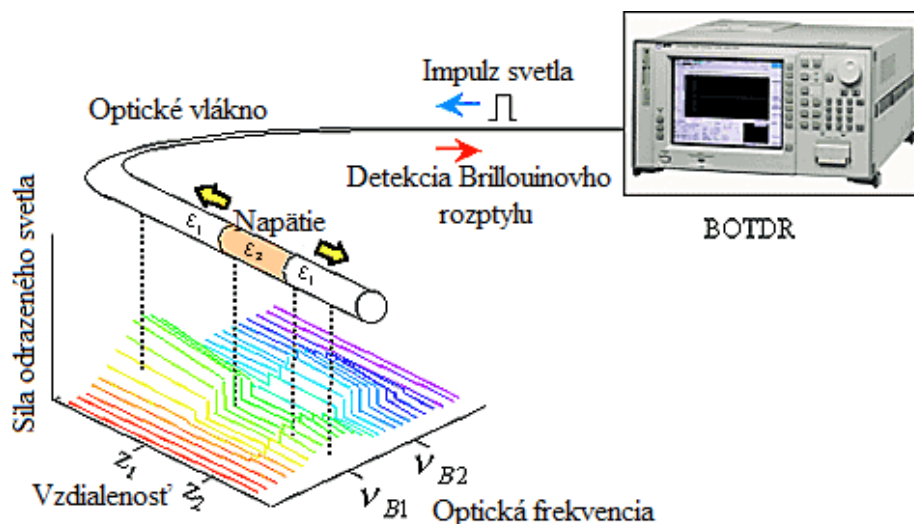
DSTS je založený na Brillouinovom rozptyle. Využíva 2 typy optických senzorov, a teda Brillouinovu optickú reflektometriu s časovou doménou – BOTDR (z anglického Brillouin optical time-domain reflectometry) a Brillouinovu optickú analýzu s časovou doménou – BOTDA (Brillouin optical time-domain analysis), prípadne sa využíva ich kombinácia.

Meranie s týmto systémom je softvérové, čo znamená, že či už použijeme BOTDR alebo BOTDA, vlákno je napojené na počítač, v ktorom sa dáta zbierajú, analyzujú a vyhodnocujú. Pred samotnou analýzou je samozrejme treba systém kalibrovať, určiť základnú hodnotu, oproti ktorej bude softvér porovnávať. Po analýze je možné na grafe zistiť aj najmenšie odchýlky (OZ Optics Ltd., 2016). Takisto nezávisle od toho, ktorý z týchto systémov využijeme, je možné merať pomocou vlákien v dvoch rôznych kanáloch, viď Obrázok 1.8. DSTS je natoľko citlivé meranie, že dokáže určiť odchýlku v teplote 1°C.



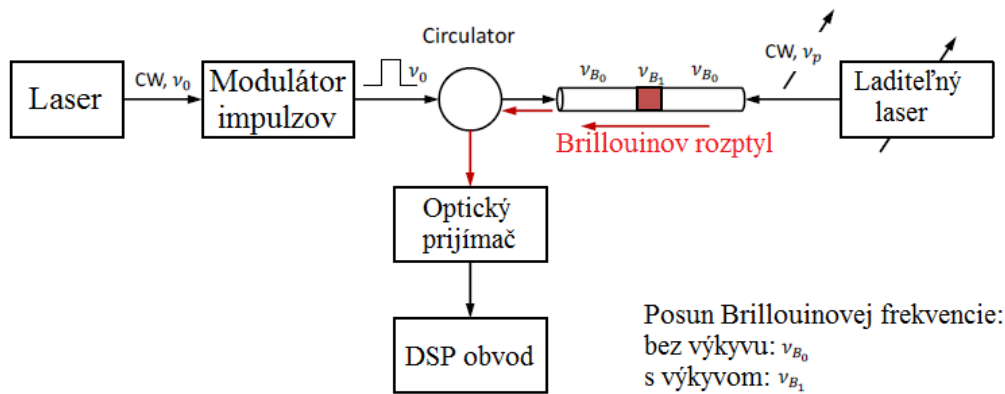
Obrázok 1.8: BOTDA (vľavo) a BOTDR (vpravo) zostava (Landolsi, Zou a Sezerman, 2015, upravené)

Technológia BOTDR je podobná OTDR (založenej na Rayleighovom rozptyle), kde spontánny Brillouinov rozptyl je zaznamenaný ako funkcia času. Aby bolo možné získať distribúciu lokálnej frekvencie, odrazený signál sa opticky zlúči s kontinuálnou vlnou svetla z lasera a detegovaný signál sa potom elektricky zmieša s lokálnym oscilátorom. Skenovaním frekvencie oscilátora a zaznamenávaním každého kroku zmiešaného signálu v čase je možné v každom bode rekonštruovať distribúciu frekvencie odrazeného signálu, vid' obrázok 1.9 (Thévenaz, 2010).



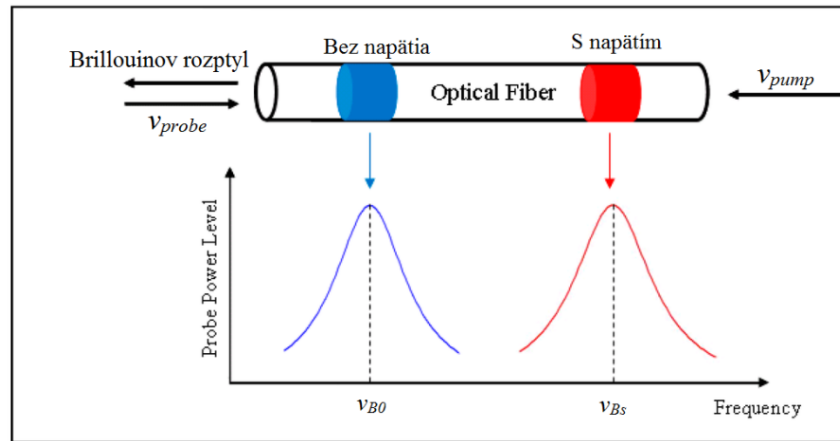
Obrázok 1.9: Princíp merania s BOTDR (upravené podľa www5)

BOTDA využíva stimulovaný Brillouinov rozptyl. Základná zostava tohto systému obsahuje dva lasery, ktoré vysielaajú signál v protismere cez tú istú časť vlákna. Jeden laser vysiela nepretržite a ten druhý vysiela impulzy. Platí, že ak rozdiel vo frekvenciách týchto dvoch laserov zodpovedá Brillouinovej frekvencii vlákna, dva lúče vo vlákne spolu silno interagujú, čo spôsobí amplifikáciu Brillouinového signálu, ktorý môže byť detegovaný použitím vzorkovacieho aparátu typu OTDR (Zeni a kol., 2015).



Obrázok 1.10: Princíp merania s BOTDA (upravené podľa Zeni a kol., 2015)

Na to, aby sa dalo uskutočniť meranie teploty a napätia, je potrebné určiť Brillouinovo spektrum vo vlákne tak, že sa zistí rozdiel frekvencií oboch zdrojov lasera a zostaví sa graf, na základe ktorého je potom možné vypočítať zmenu teploty a napätia, viď Obrázok 1.11 (Landolsi, Zou a Sezerman, 2015).

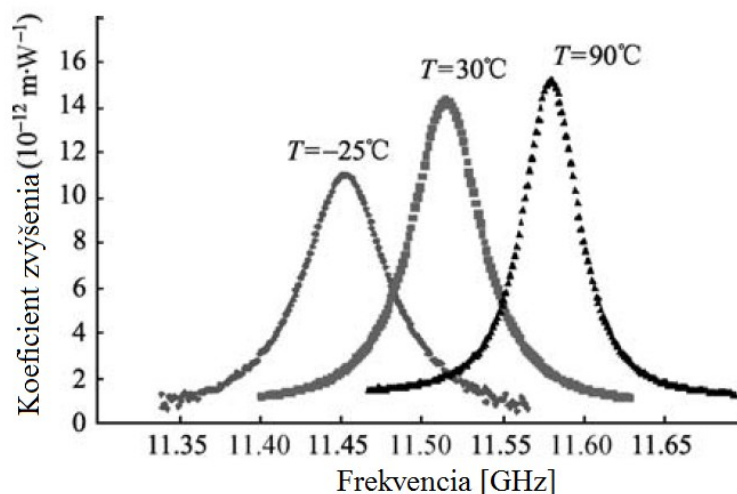


Obrázok 1.11: Meranie pomocou BOTDA (Cui, Pamukcu a Pervizpour, 2015)

Brillouinová frekvencia je v každom bode vlákna lineárne závislá od teploty a napätia dopadajúceho na vlákno, čo vyjadruje vzťah:

$$\nu_{B_s} = \nu_{B_0} + C_T(T - T_0) + C_\varepsilon(\varepsilon - \varepsilon_0),$$

kde C_T je koeficient teploty a C_ε je koeficient napätia (Sarfo, 2016). Meranie zvýšenia teploty či napätia pomocou stimulovaného Brillouinovho rozptylu môžeme vyjadriť ako funkciu rozdielu frekvencie medzi laserom a signálom, zvýšenie získané pre rôzne teploty je možné vidieť na Obrázok 1.12 (Thévenaz, 2010).



Obrázok 1.12: Zvýšenie získané pre rôzne teploty (upravené podľa Thévenaz, 2010)

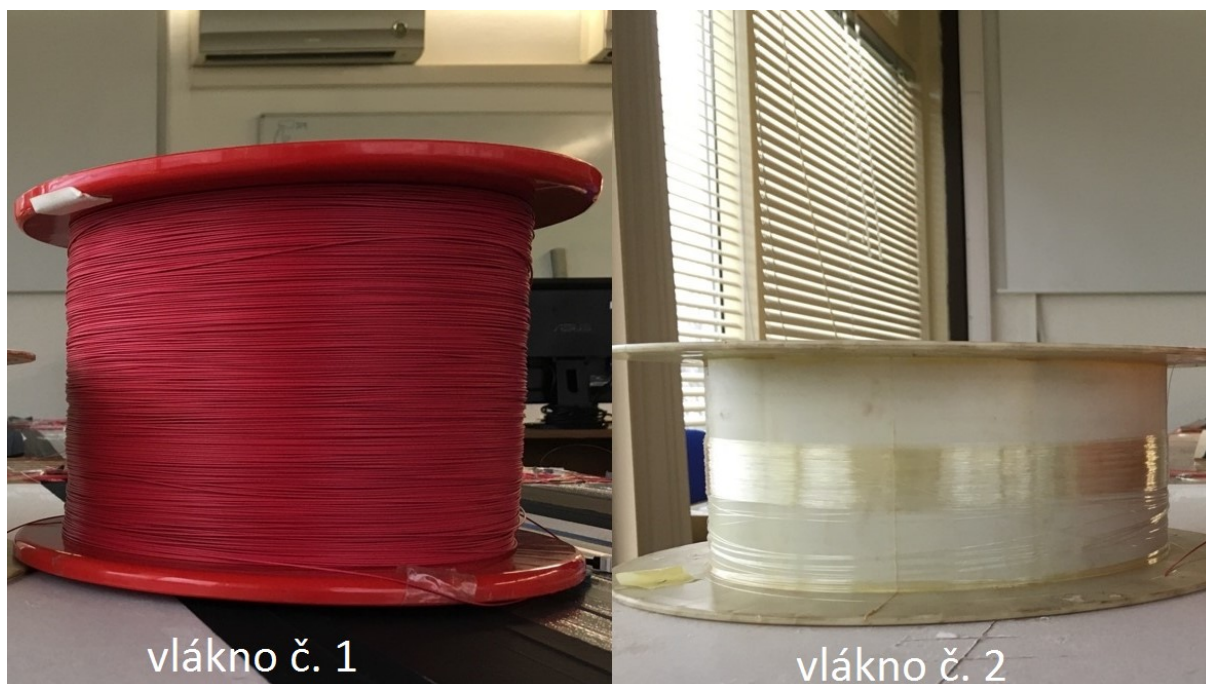
BOTDA má tú výhodu, že signál odrazeného svetla je silnejší ako u BOTDR, čo je spôsobené tým, že BOTDR využíva spontánny Brillouinov rozptyl a BOTDA stimulovaný. Z čoho vyplývajú ďalšie výhody BOTDA – dlhší dosah snímania, rýchlejšie meranie a je citlivejší na zmeny teploty a napätia. Na druhú stranu BOTDA musí byť pripojený na 2 lasery, čo môže ale spôsobiť problém – nie je prístup k druhému koncu, a taktiež, ak je niekde vlákno poškodené, už nie je možné merať (OZ Optics Ltd., 2014). Z tohto dôvodu je výhodné využiť kombináciu oboch technológií, čo poskytne výhody oboch systémov s možnosťou prepínania režimu.

Existujú viaceré výhody využitia DSTS oproti iným technikám. Prvou je, že systém používa klasické jednomódové optické vlákna, čo umožní uskutočniť merania do veľkých vzdialeností. Ďalšou výhodou je fakt, že táto technológia je založená na frekvencii, nie na intenzite (ako v prípade DTS), a teda je presnejšia a stabilnejšia než technológia založená na intenzite, kde dochádza k nespecifickým posunom a chybám. Poslednou výhodou je to, že informácia, ktorú získame, nie je spôsobená tepelnou aktiváciou pozadia, takže dáta získané touto metódou môžeme ďalej použiť, čo vedie k oveľa väčšej intenzite rozptylu a tak získame väčší pomer signál-šum (Thévenaz, 2010).

1.4 Použité materiály

1.4.1 Optické vlákna

Na experiment sme použili dva typy rozličných optických vlákien, ktoré sú vhodné na monitorovanie a meranie pomocou distribuovaného systému DSTS. Vlákno č. 1 bolo od firmy OFS – Furukawa Company so štandardom G.652d. Vlákno č. 2 bolo od firmy Corning so štandardom G.652a. Kompletne informácie o použitých optických vláknach sú uvedené v katalógových listoch v prílohách tejto diplomovej práce.



Obrázok 1.13: Používané optické vlákna

1.4.2 Fixačné pásy

Pri výbere fixačných pások sme sa snažili najmä o rôznorodosť materiálu lepivej časti pások, pracovných teplôt a pevnosti v ťahu.

Druhy a vlastnosti testovaných pások:

1. Eurotape kobercová páska
Celková hrúbka: 0,2 mm
Lepiaca vrstva: Prírodný kaučuk
Pevnosť v ťahu: 70 N/25 mm
Teplotná odolnosť: -10° C až +70° C
2. Promipáska univerzální
Celková hrúbka: 0,175 mm
Lepiaca vrstva: Syntetický kaučuk
Pevnosť v ťahu: 105 N/25 mm
Teplotná odolnosť: -10° C až +70° C
3. Tesa
Lepiaca vrstva: Transparentné PVC s textilnou mriežkou
Tepelná odolnosť: -40° C až +95° C
4. DUCT-TAPE
Celková hrúbka: 0,285 – 0,295 mm
Lepiaca vrstva: Hot-melt

Pevnosť v ťahu: 90 N/25 mm
Teplotná odolnosť: až do +80° C

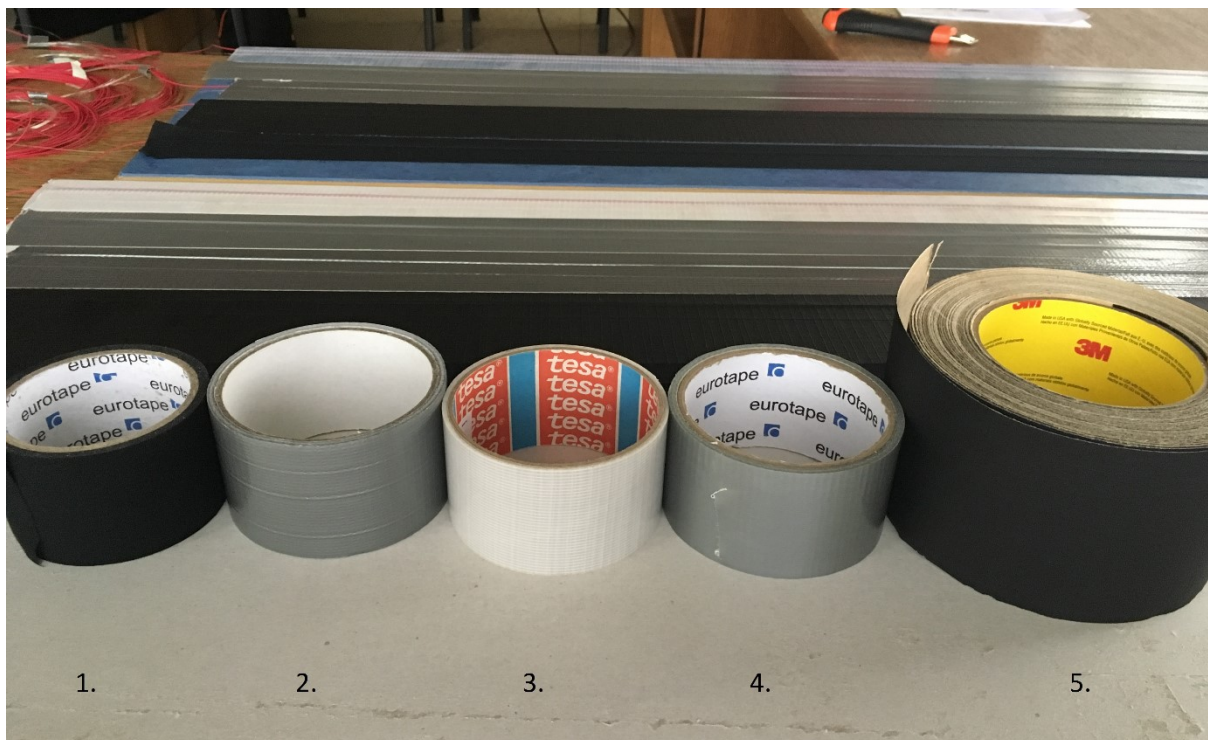
5. VentureTape 1553 CW

Celková hrúbka bez krycej fólie: 0,22 mm

Lepiaca vrstva: Hliníková laminovaná páska s akrylovým lepidlom

Pevnosť v ťahu: 203N/25mm

Teplotná odolnosť: -40° C až +116° C



Obrázok 1.14: Fixačné pásy

1.4.3 Podlahové materiály

Pri výbere podlahových materiálov sme kládli dôraz na zahrnutie výberu čo najširšieho spektra podlahových materiálov na ktoré bude možná fixácia senzorických vlákien prilepených pomocou fixačných pásk.

Druhy a vlastnosti testovaných materiálov:

1. Thermofix vinylové dielce
Celková hrúbka: 2,0 (+0,13; -0,10) mm
Tepelná vodivosť: 0,17 W/(m.K)
2. Sádrokartonová doska Knauf White
3. RealWood klik - Dub rustikal (masívne dubové lamely)
Celková hrúbka: 19 mm

Tepelná vodivost': 0,11 W/(m.K)

4. Forbo Marmoleum

Tepelná vodivost': 0,15 W/(m.K)

5. Quick- Step Laminát

Tepelná vodivost': 0,051 W/(m.K)

6. Podlahová krytina Elektrostatik Dynamik

Celková hrúbka: 1,7 – 2 mm

Tepelná vodivost': 0,17 W/(m.K)

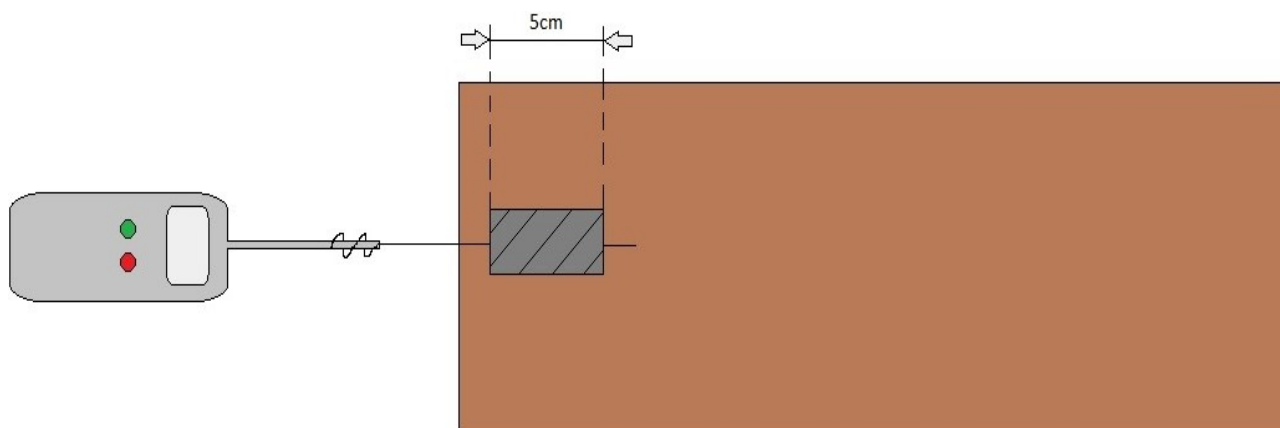
2 Vypracovanie

2.1 Meranie odtrhovej sily pomocou silomeru

Základnými otázkami pri fixácii optických vlákien na rôzne typy povrchov sú: Ako správne uchytiť optické vlákno na daný povrch? Aký typ fixačnej pásky je vhodné použiť? Aké je chovanie fixačných pásek prilepených na danom materiáli z hľadiska časového starnutia? Aké sú zmeny vlastností fixačných pásek pri zmenách teploty? Tieto otázky sme si museli objasniť pred samotným meraním s distribuovaným systémom DSTS a práve na to nám pomohlo meranie odtrhovej sily pomocou silomeru.

Pri fixovaní optických vlákien pre senzorické merania sú možnosti uchytienia na daný materiál pomocou fixačného tmelu alebo fixačných pásek. Po zvážení možností fixovania na podlahové materiáli, bola jasná voľba výberu uchytienia vlákien pomocou fixačných pásek. Uchytenie pomocou nich je efektívnejšie a rýchlejšie oproti fixovaniu tmelom. Pri fixácii tmelom je nutné zvážiť hrúbku vrstvy nanášaného tmelu. Taktiež pri použití tmelu na podlahové materiáli, môže jeho zloženie poškodiť materiál. Pri použití fixačných pásek je vždy nalepená rovnomerná vrstva lepivej časti na optické vlákno, ktorá väčšinou obopne vlákno dostatočne dobre.

Meranie odtrhovej sily prebiehalo v troch časových úsekoch. Prvý časový úsek bolo meranie realizované ihneď po nalepení fixačnej pásky s optickým vláknom na skúmaný materiál. Druhý časový úsek bolo meranie po 48 hodinách od nalepenia a tretí 168 hodín (1 týždeň) od nalepenia. Meranie bolo realizované pomocou silomeru



Obrázok 2.1: Schéma merania odtrhovej sily

Na obrázku číslo 2.1 môžeme vidieť ako meranie odtrhovej sily prebiehalo. Na koniec silomeru sme ukotvili vlákno o dĺžke cca 30 cm. Druhý koniec vlákna sme prilepili na testovaný typ materiálu tak aby ešte malá časť vlákna vyčnievala a začiatok vlákna nebol prilepený. Každé testované vlákno bolo prilepené fixačnou páskou o rozmere 5cm na dĺžku. Po prilepení na materiál a zafixovaní vlákna o silomer sme zrealizovali plynulý ťah silomeru smerom od testovaného materiálu a sledovali sme hodnotu sily, ktorá bola potrebná na odlepenie fixovaného vlákna spod pásky. Maximálnu hodnotu ktorá bola nameraná a zároveň potrebná na odtrhnutie vlákna od pásky sme nazvali odtrhovou silou. Druhá vec ktorú sme pri meraní sledovali bola sila zostatková. Ostatkovou silou sme si pomenovali silu,

ktorá bola nameraná v momente, keď pri ťahu vlákna uchyteného na silomer, vlákno celou dĺžkou opustilo zafixovanú časť o pásku. Meraním zostatkovej sily sme sledovali, či testované pásky udržiavajú svoje fixačné vlastnosti aj po prekonaní odtrhovej sily. Meranie bolo realizované na šiestich rozličných druhoch materiálov a testovali sme dva typy vlákien. Pre minimalizovanie chýb pri meraní sme každé meranie zrealizovali 5x po sebe a následne dopočítali stredné hodnoty, smerodajné odchýlky a rozptyly. Pri každom meraní sme použili nový kus vlákna a to preto, lebo na každom už otestovanom vlákne boli zostatky tmelu po odlepení od fixačnej pásky, čo namerané výsledky zakresľovalo.



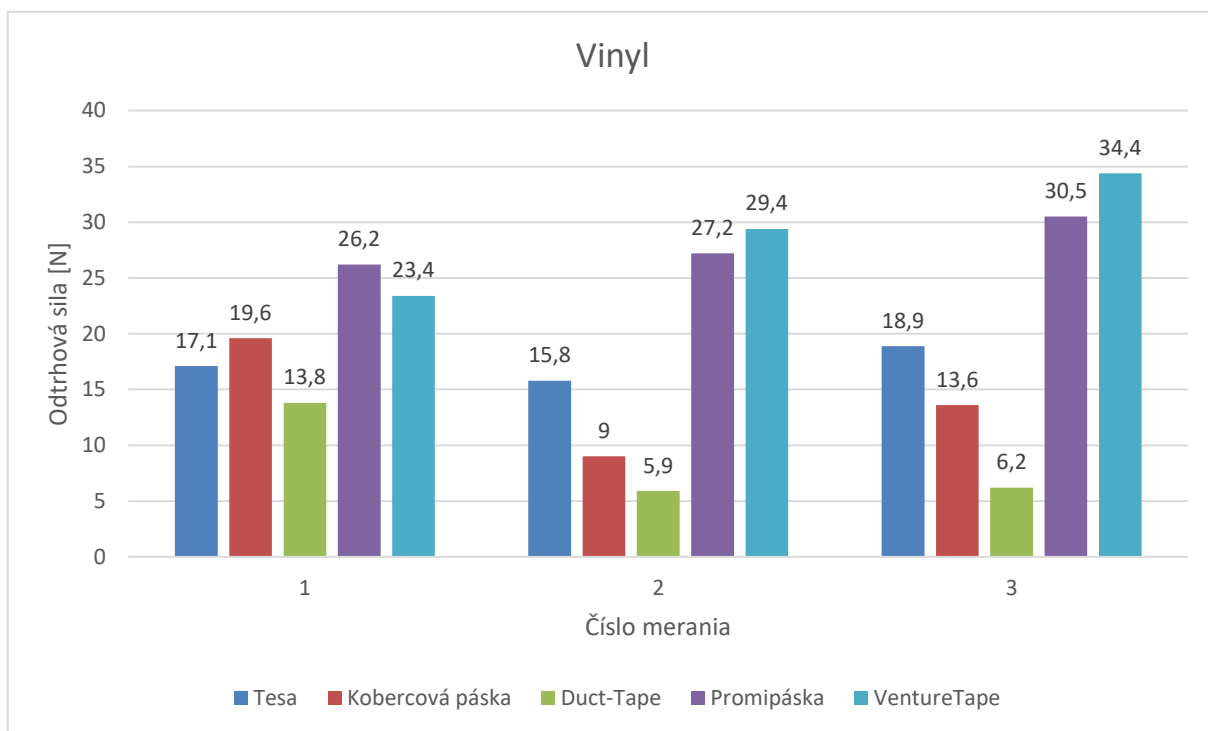
Obrázok 2.2: *Príprava na meranie odtrhovej sily*

Na obrázku číslo 2.2 môžeme vidieť prípravu na meranie ktoré bolo následne realizované 48 hodín od prilepenia vlákien.

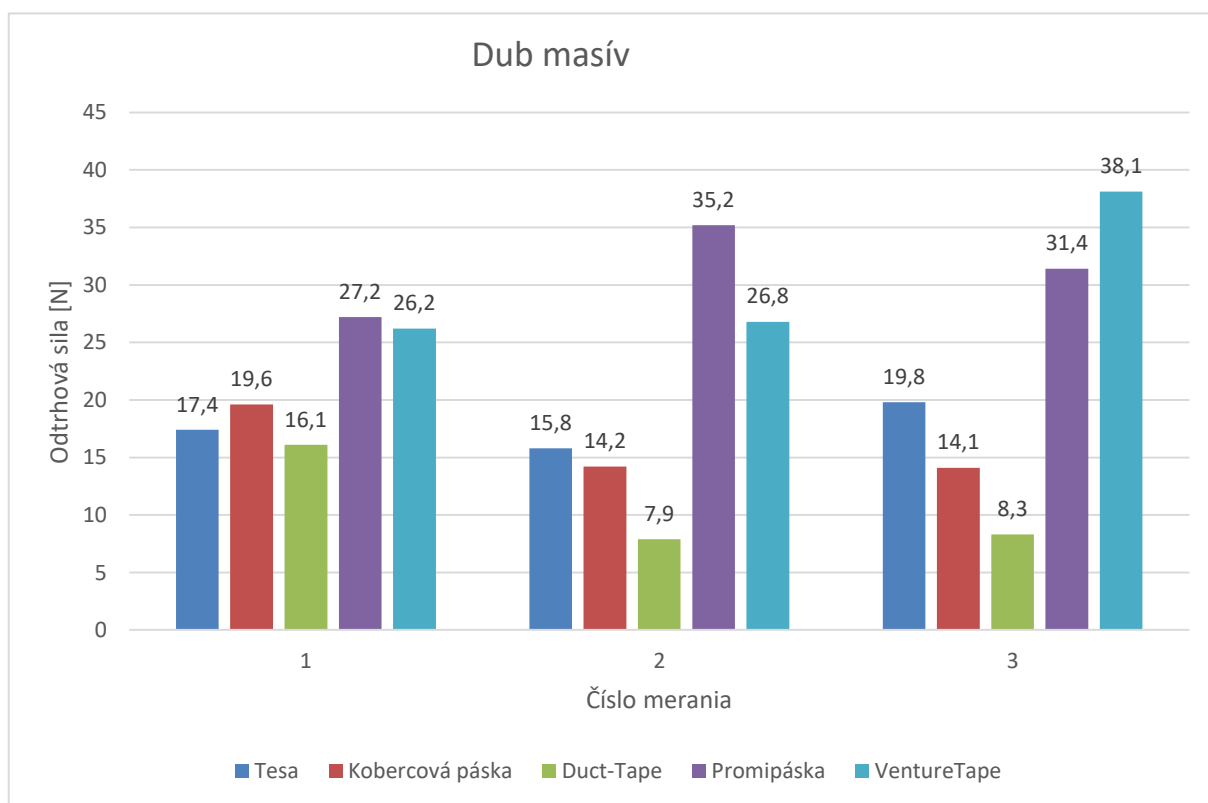
2.2 Zhodnotenie nameraných výsledkov

2.2.1 Výsledky merania pre vlákno číslo 1

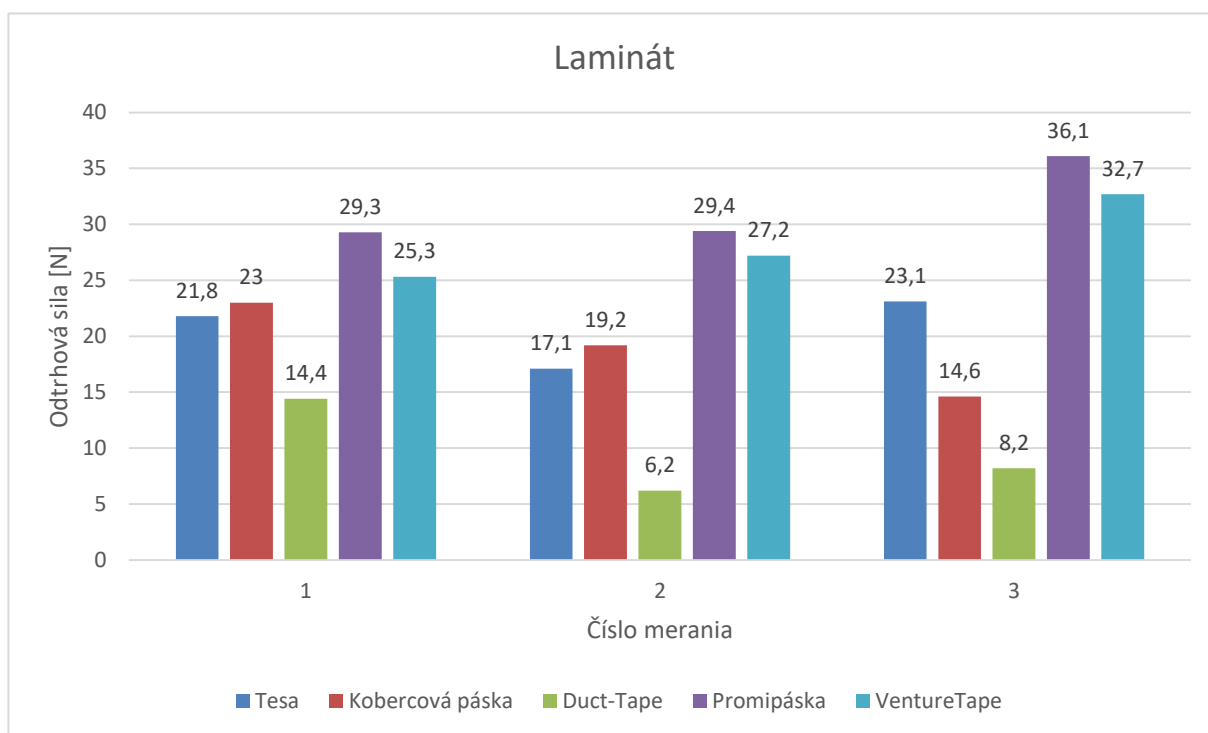
V grafoch môžeme vidieť porovnania nameraných hodnôt odtrhových síl všetkých testovaných fixačných pásek v procese starnutia v závislosti na testovanom type materiálu. Proces starnutia v grafe je rozdelený na ose x v troch časových okamžikoch. Číslo merania 1 reprezentuje namerané stredné hodnoty odtrhových síl v okamihu, keď meranie hodnôt bolo uskutočnené tesne po prilepení vlákna testovanou páskou. Číslo merania 2 reprezentuje namerané stredné hodnoty odtrhových síl po 48 hodinách od prilepenia vlákna fixačnou páskou. Číslo merania 3 reprezentuje namerané stredné hodnoty odtrhových síl po 168 hodinách od prilepenia. Tým pádom môžeme v každom jednotlivom grafe porovnať fixačné vlastnosti všetkých testovaných pásek na každom materiáli.



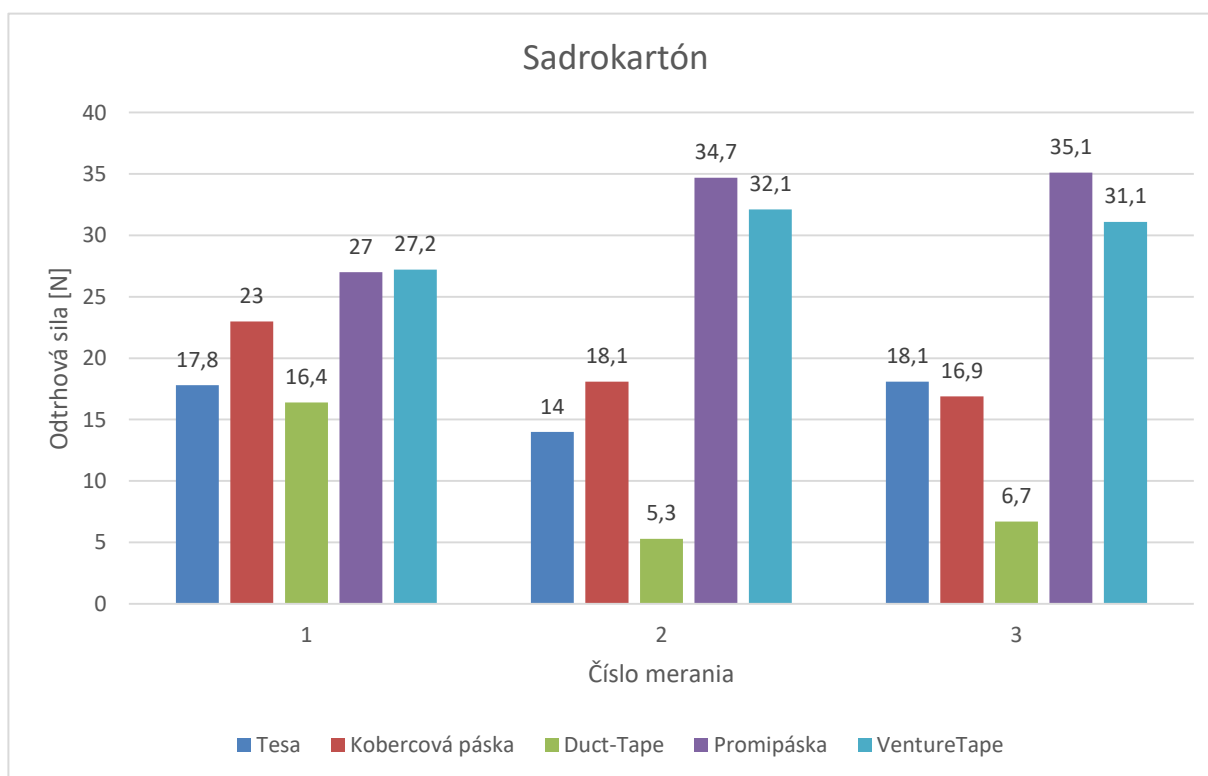
Graf 2.1: Hodnoty odtŕhových síl v procese starnutia



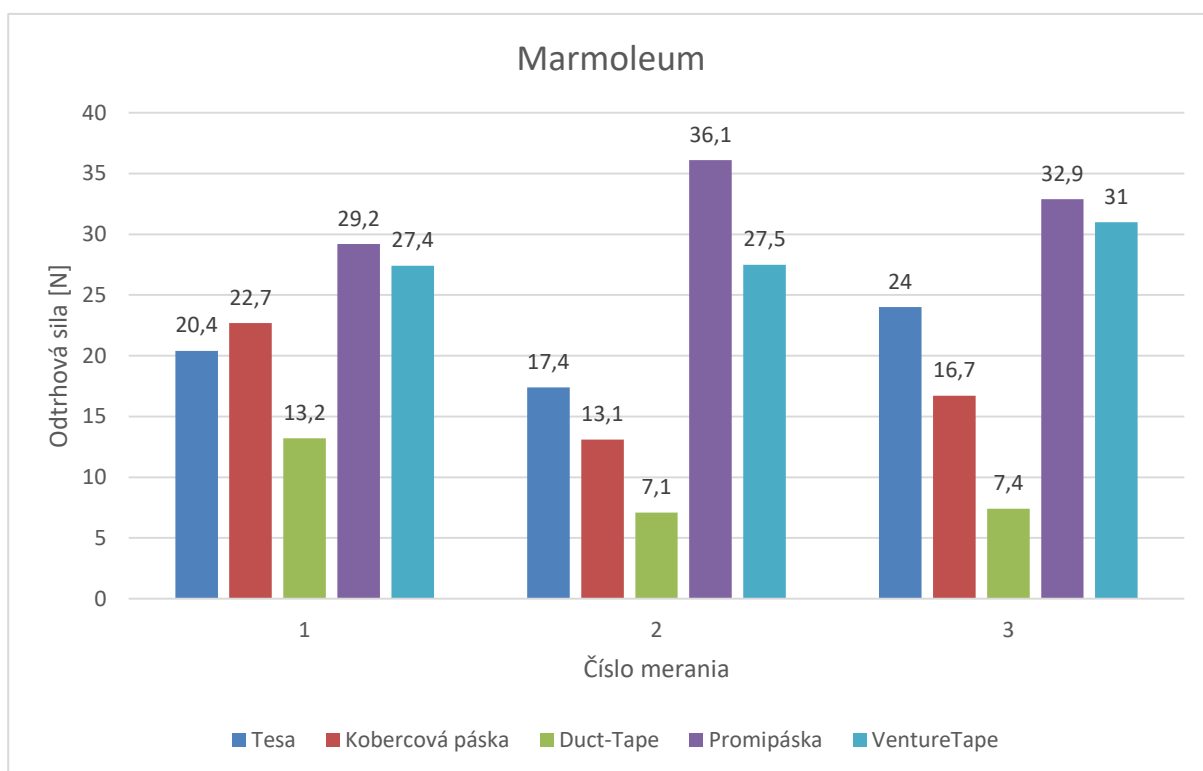
Graf 2.2: Hodnoty odtŕhových síl v procese starnutia



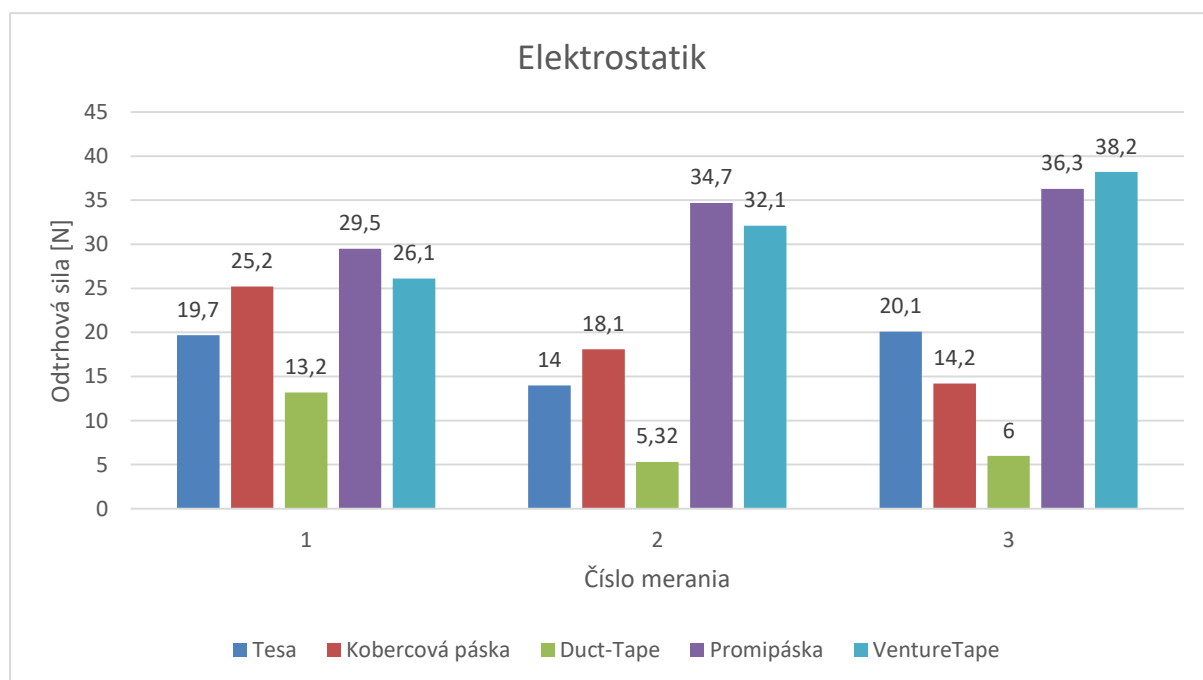
Graf 2.3: Hodnoty odtrhových síl v procese starnutia



Graf 2.4: Hodnoty odtrhových síl v procese starnutia



Graf 2.5: Hodnoty odtrhových síl v procese starnutia



Graf 2.6: Hodnoty odtrhových síl v procese starnutia

2.2.2 Zhodnotenie

Prvá testovaná páska Tesa dosahovala v priemeroch na všetkých typoch materiálov odtrhové sily od 17,1 – 21,8 N. Pokiaľ zhodnotíme odtrhové sily tejto pásky v čase, tak môžeme usúdiť, že svoje fixačné vlastnosti nestráca, avšak čo sa týka vizuálnej kontroly, tak na páske sme si všimli, že nefixuje prilepené vlákno po celom jeho obvode. Táto páska nie je natoľko pružná, aby vlákno obopla celé a tým pádom by zaistila lepšiu fixáciu.

Druhá testovaná páska bola kobercová páska Eurotape. Na testovaných materiáloch dosahovala odtrhové sily v momente merania od 19,6 – 25,2 N. Páska bola pružná a testované vlákno obopla celé. Avšak pokiaľ sa pozrieme na fixačné vlastnosti tejto pásky v čase, tak môžeme vidieť, že odtrhové sily namerané po dvoch dňoch a týždni klesajú. Tým pádom táto páska stráca svoje fixačné vlastnosti a nie je vhodná na dlhodobú fixáciu tohto typu vlákna. Pri vizuálnej kontrole sme taktiež postrehli, že páska sa odliepa a neprilieha na vlákno dostatočne dobre.

Tretia testovaná páska Duct-Tape už pri meraní v okamihu od nalepenia na vlákno dosahovala zo všetkých testovaných pásov najmenšie odtrhové sily. Hodnoty sa pohybovali v rozmedzí od 13,2 – 16,4 N. Pri procese starnutia v čase môžeme vidieť, že táto páska stratí skoro akékoľvek fixačné vlastnosti a to už aj po dvoch dňoch od zafixovania. Taktiež nedosahuje uspokojivé výsledky ani na jednom type testovaného materiálu.

Odrhové sily u Promipásky sa v momente od nalepenia pohybovali v rozmedziach od 26,2 – 29,5 N. Promipáska veľmi dobre fixovala vlákno na každom jednom testovanom povrchu. Svojou štruktúrou a pružnosťou obopla pri fixovaní vlákno po celom jeho obvode. Pri meraní odtrhových síl Promipásky došlo občas k pretrhnutiu samotného vlákna. To znamená, že fixácia touto páskou bola natoľko pevná, že prekročila hranicu pevnosti samotného vlákna. Páska veľmi dobre priliehala na sekundárnu ochranu testovaného vlákna. Čo sa týka procesu starnutia prilepenej pásky, tak môžeme vidieť, že s časom tento typ pásky nestráca svoje fixačné vlastnosti. Tmel na testovanej páske má tendenciu vytvrdnúť a tým pádom môžeme vidieť, že s časom získava páska väčšiu pevnosť na všetkých povrchoch. To sa nám odzrkadlilo aj na odtrhových silách, ktoré boli po týždni od prilepenia namerané od 30,5 – 36,3 N. Tento typ fixačnej pásky je vhodné použiť na všetkých testovaných materiáloch.

Poslednou testovanou fixačnou páskou bola páska VentureTape. Táto páska dosahovala taktiež veľmi dobré výsledky. V momente od nalepenia sa jej odtrhové sily pohybovali od 23,4 – 27,4 N na všetkých testovaných materiáloch. Táto páska bola veľmi pevná, hlavne pre hliníkovú úpravu lepiacej časti. Pokiaľ zhodnotíme jej fixačné vlastnosti v čase, tak môžeme vidieť, že je na tom veľmi podobne ako Promipáska. Svoje fixačné vlastnosti si ponecháva a taktiež má akrylové lepidlo tendenciu vytvrdnúť a tým pádom ešte zvýšiť jej fixačné vlastnosti a pevnosť. Odrhové sily namerané po týždni od prilepenia sa pohybovali v rozmedziach od 31 – 38,2 N. Tým pádom svojimi výsledkami skončila pri testovaní najlepšie. Pri meraní dochádzalo taktiež ku pretrhnutiu testovaného vlákna, čím si táto páska potvrdila svoju pevnosť. Túto pásku je taktiež vhodné použiť na akýkoľvek typ z testovaných materiálov. Z výsledkov v grafoch môžeme usúdiť, že samotný materiál na ktorý je fixované vlákno nemá vplyv na pevnosti pásov. To znamená, že pokiaľ je testovaná páska vhodná, čo sme si overili zmeraním odtrhových síl, potom materiál na ktorý je prilepená neovplyvňuje výsledky merania. Po zhodnotení nameraných výsledkov odtrhových síl, môžeme konštatovať, že pre fixovanie testovaného vlákna je najvhodnejšia Promipáska a VentureTape páska. Jediný rozdiel, ktorý by mohol ovplyvniť výber medzi týmito páskami sú teplotné odolnosti pásov. Pri Promipáske sú tieto hodnoty od -10° C až +70° C a pri VentureTape sú vyššie a to od -40 °C až +116 °C.

Typ pásky: Tesa		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila[N]
1.	19	15
2.	17	14
3.	19	13
4.	15	10
5.	15,5	13
E(X)	17,1	13
σ	1,9	1,9
D(X)	3,6	3,5

Tabuľka 2.1: *Odtrhové a ostatkové sily namerané v momente od nalepenia*

V tabuľke 2.1 môžeme vidieť príklad nameraných hodnôt pre testované vlákno na materiáli číslo 1 (vinyl). Tieto hodnoty boli namerané ihneď po zafixovaní vlákna. Pri meraní sme vždy namerali 5 hodnôt z ktorých sme následne vypočítali strednú hodnotu $E(X)$, smerodajnú odchýlku σ a rozptyl $D(X)$. Zvýraznená hodnota v tabuľke $E(X)$ 17,1 N odpovedá prvému stĺpci v grafe číslo 2.1. Hodnota reprezentuje odtrhovú silu pásky Tesa nameranú v okamžiku od nalepenia. Táto tabuľka je uvedená ako príklad. Kompletne tabuľky z výsledkami sú uvedené v prílohách A, B, C, D, E, F tejto práce.



Obrázok 2.3: *Fixačné pásky v procese starnutia*

Na obrázku číslo 2.3 môžeme vidieť prípravu na meranie, ktoré bolo realizované následne po určenej dobe starnutia. Na všetkých šesť materiálov boli zafixované optické vlákna z každej fixačnej pásky po 5tich kusoch. Konkrétne táto príprava bola realizovaná pre vlákno číslo 1.

Materiál	Odrhová sila [N]				
	Fixačná páska				
	Tesa	Duct-Tape	Promipáska	VentureTape	Kobercová páska
6	19,7	13,2	29,5	26,1	25,2
5	20,4	13,2	29,2	27,4	22,7
4	17,8	16,4	27	27,2	23
3	21,8	14,4	29,3	25,3	23
2	17,4	16,1	27,2	26,2	19,6
1	17,1	13,8	26,2	23,4	19,6
E(X)	19,0	14,5	28,1	25,9	22,2

Tabuľka 2.2: Priemery odtrhových síl v momente od nalepenia

Materiál	Odrhová sila [N]				
	Fixačná páska				
	Tesa	Duct-Tape	Promipáska	VentureTape	Kobercová páska
6	14,5	4	30,3	28,3	8,3
5	17,4	7,1	36,1	27,5	13,1
4	14	5,3	34,7	32,1	18,1
3	17,1	6,2	29,4	27,2	19,2
2	15,8	7,9	35,2	26,8	14,2
1	15,8	5,9	27,2	29,4	9
E(X)	15,8	6,1	32,2	28,6	13,7

Tabuľka 2.3: Priemery odtrhových síl 48 hodín od nalepenia

Materiál	Odrhová sila [N]				
	Fixačná páska				
	Tesa	Duct-Tape	Promipáska	VentureTape	Kobercová páska
6	20,1	6	36,3	38,2	14,2
5	24	7,4	32,9	31	16,7
4	18,1	6,7	35,1	31,1	16,9
3	23,1	8,2	36,1	32,7	14,6
2	19,8	8,3	31,4	38,1	14,1
1	18,9	6,2	30,5	34,4	13,6
E(X)	20,7	7,1	33,7	34,3	15,0

Tabuľka 2.4: Priemery odtrhových síl 168 hodín od nalepenia

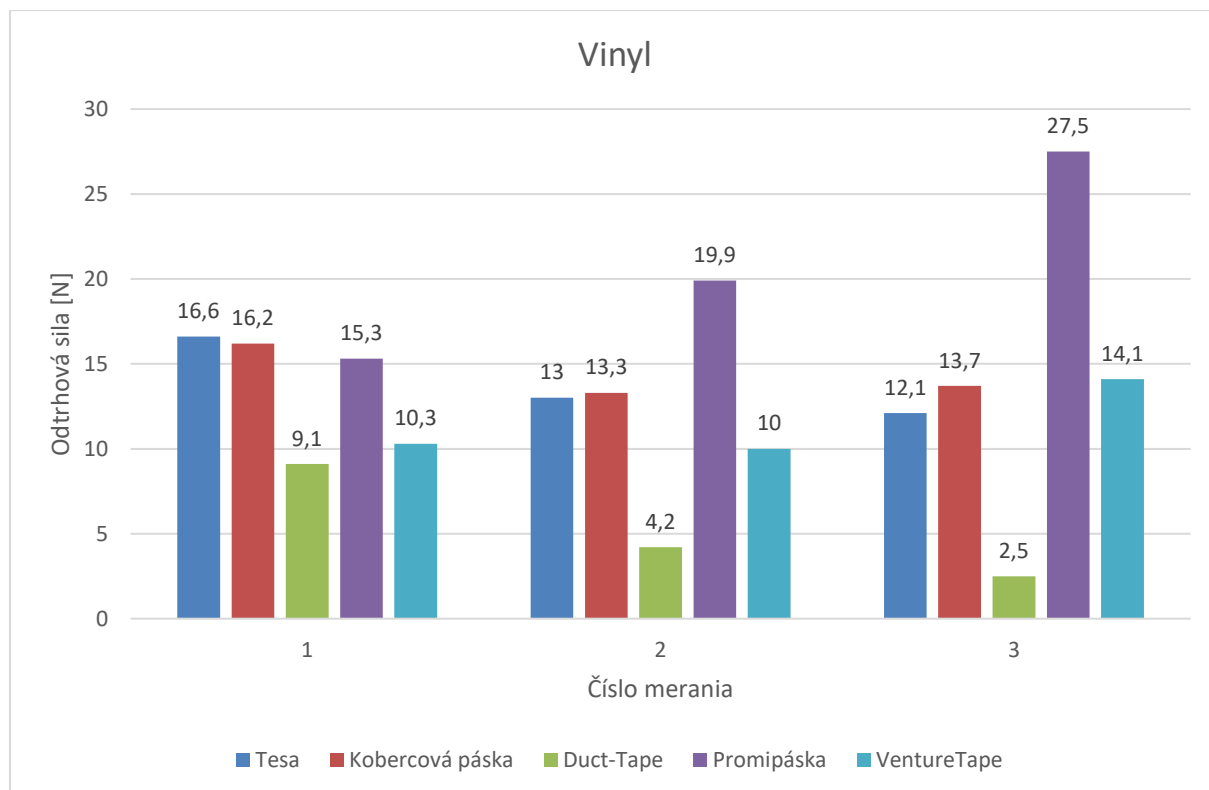
V tabuľkách číslo 2.2, 2.3, 2.4 sú uvedené stredné hodnoty odtrhových síl testovaných fixačných pások. Oproti predchádzajúcim grafom sú stredné hodnoty E(X) vypočítané pre každú páska jednotlivo na všetkých podlahových materiáloch. Tieto hodnoty nám ukazujú ako daná fixačná páska lepila bez ohľadu na materiál na ktorom bola fixovaná. To znamená, že tieto hodnoty nám umožňujú takzvanú voľbu prvého vhodného výberu pásy bez ohľadu na to, či poznáme podkladový materiál.

V momente od nalepenia najvyššie odtrhové sily dosahovala Promipáska. Za ňou sa umiestnila VentureTape potom Eurotape kobercová páska. Na štvrtom mieste to bola fixačná páska Tesa a najmenšie odtrhové sily dosahovala páska Duct-Tape.

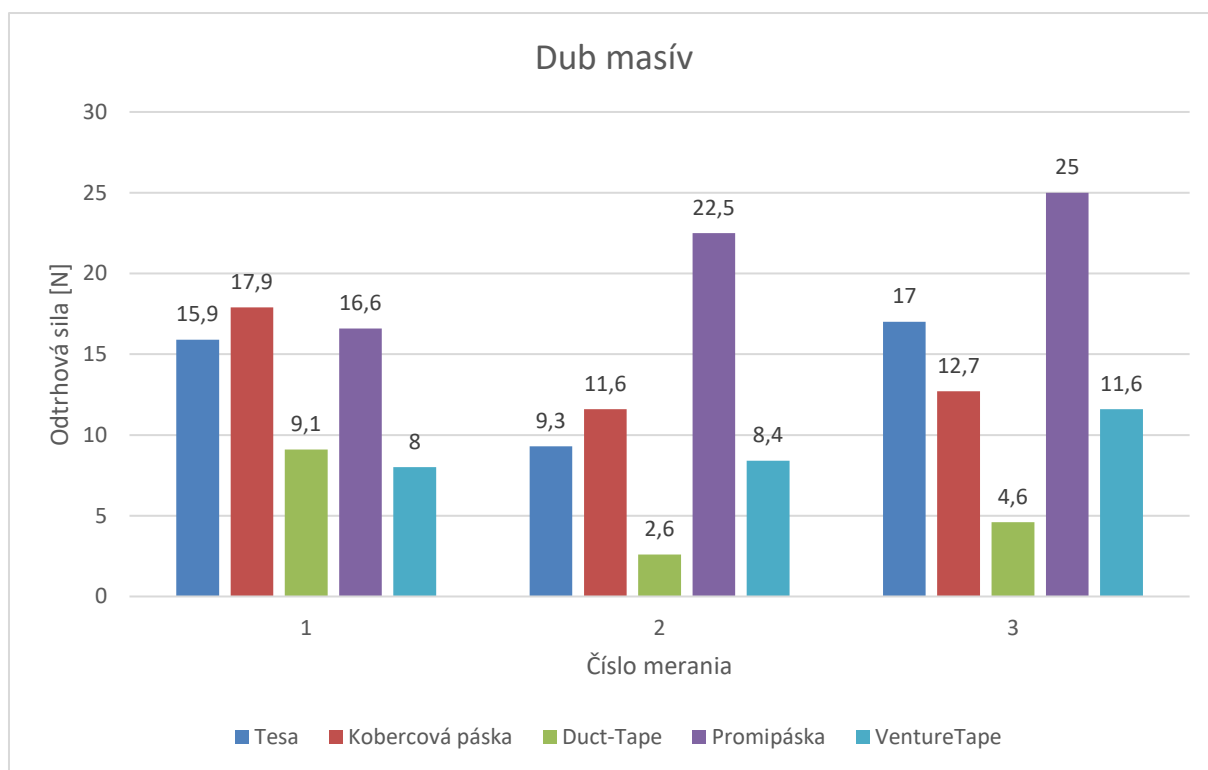
48 hodín od nalepenia najvyššie odtrhové sily dosahovala Promipáska. Za ňou sa umiestnila VentureTape potom Tesa. Na štvrtom mieste to bola Eurotape kobercová páska a najmenšie odtrhové sily dosahovala páska Duct-Tape.

Týždeň od nalepenia najvyššie odtrhové sily dosahovala VentureTape. Za ňou sa umiestnila Promipáska potom Tesa. Na štvrtom mieste to bola Eurotape kobercová páska a najmenšie odtrhové sily dosahovala opäť páska Duct-Tape.

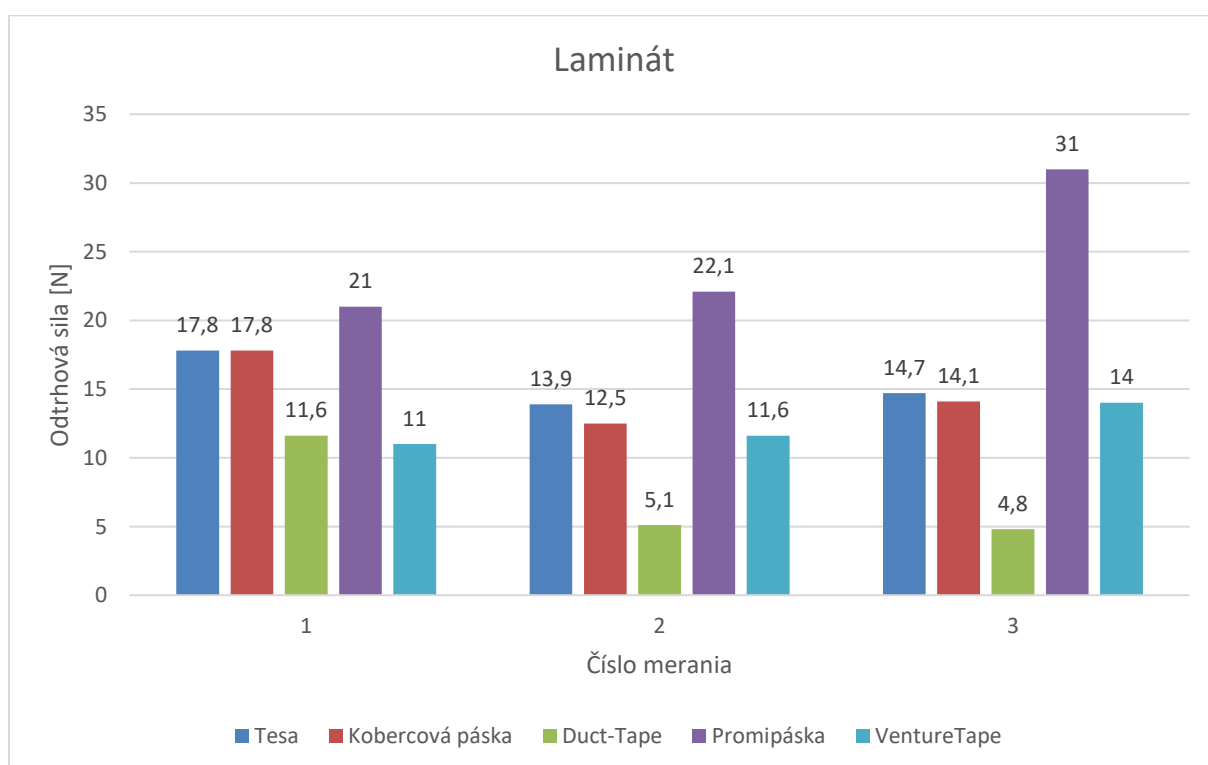
2.2.3 Výsledky merania pre vlákno číslo 2



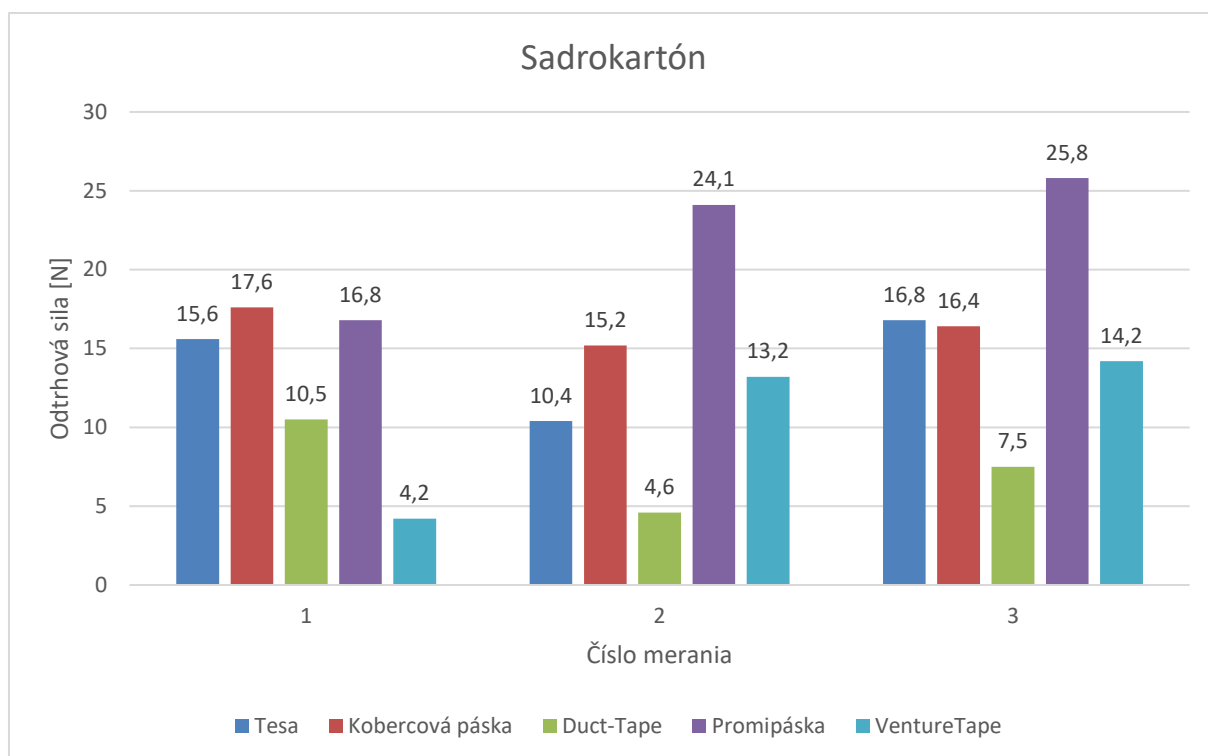
Graf 2.7: Hodnoty odtrhových síl v procese starnutia



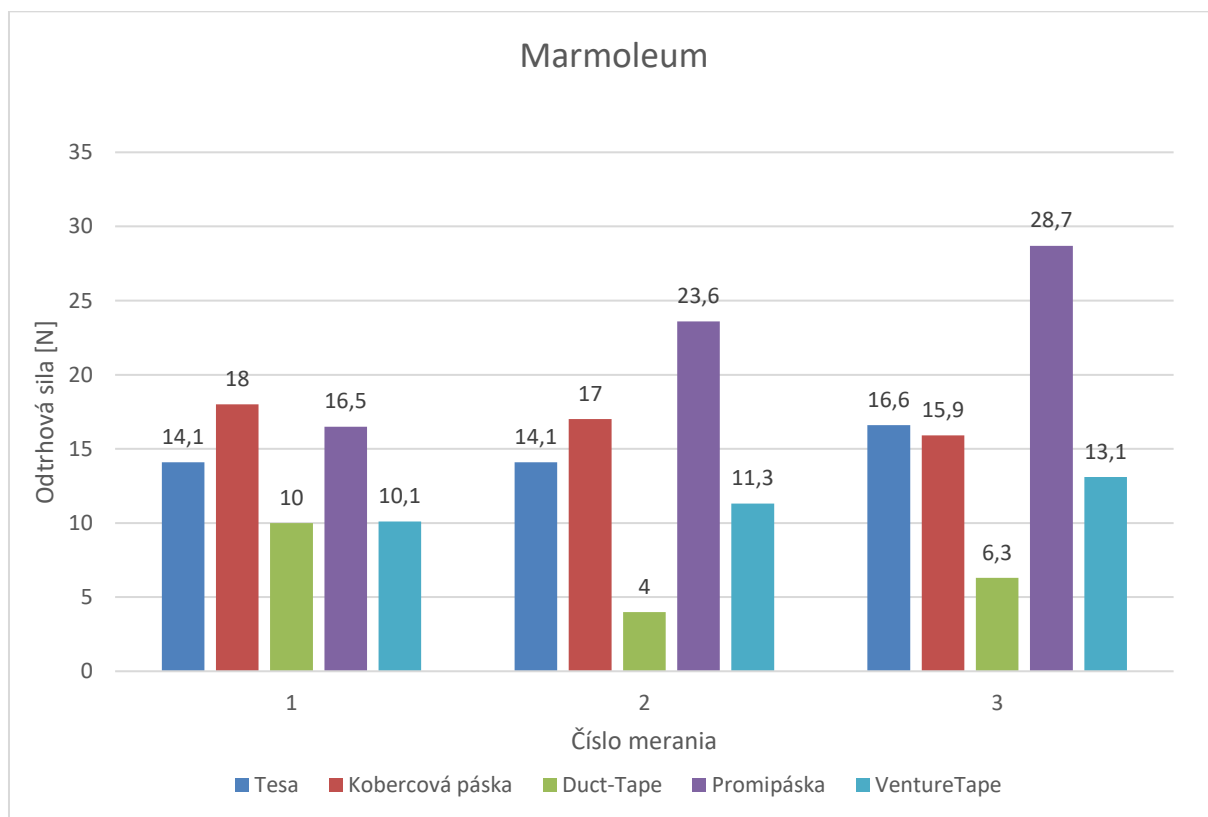
Graf 2.8: Hodnoty odtrhových síl v procese starnutia



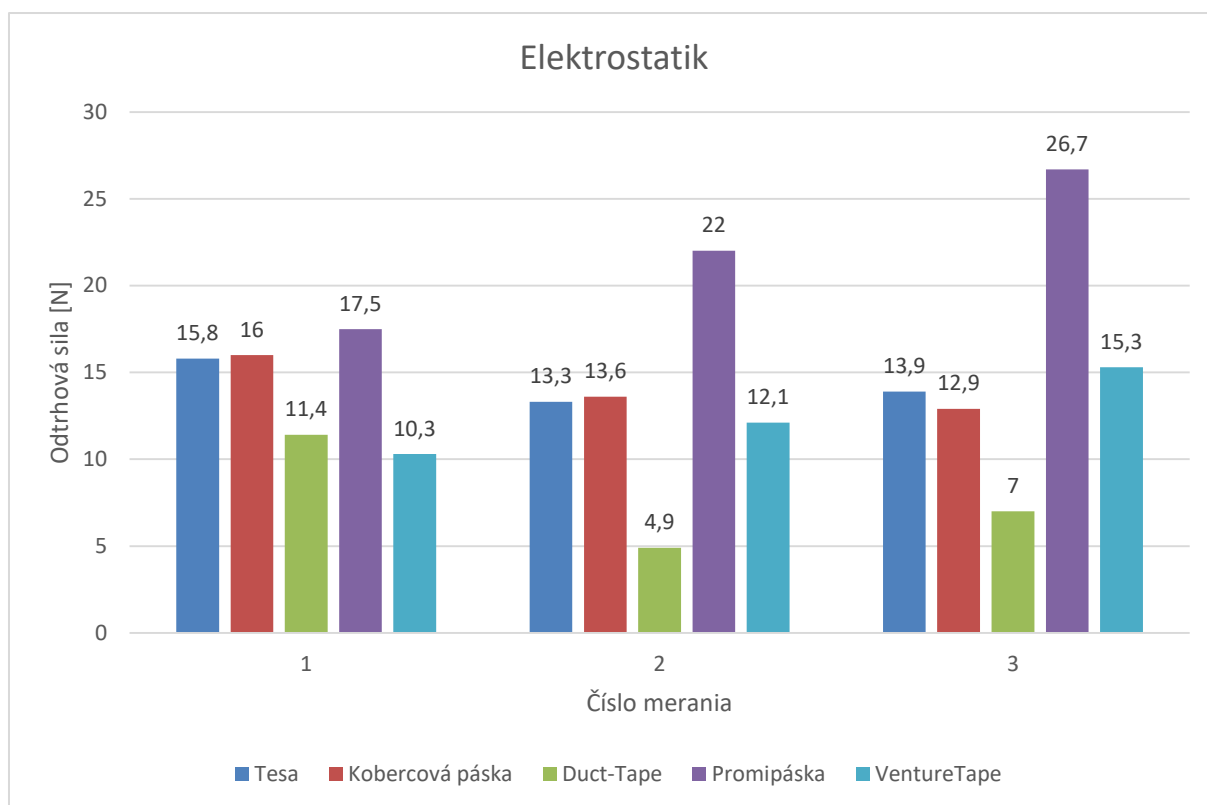
Graf 2.9: Hodnoty odtrhových síl v procese starnutia



Graf 2.10: Hodnoty odtrhových síl v procese starnutia



Graf 2.11: Hodnoty odtrhových síl v procese starnutia



Graf 2.12: Hodnoty odtrhových síl v procese starnutia

2.2.4 Zhodnotenie

Testované vlákno číslo 2 obsahovalo len primárnu ochranu, takže bolo viac náchylnejšie na poškodenie pri meraní a taktiež manipulácia so samotným vláknom bola náročnejšia. Už pri prvom pohľade na výsledky v grafoch môžeme vidieť diametrálne rozdiely v nameraných hodnotách odtrhových síl.

Páska Tesa dosahovala odtrhové sily v rozmedziach od 14,1 – 17,8 N pri meraní v okamihu od nalepenia. Pokiaľ sa pozrieme na jej odtrhové sily namerané v porovnaní s vláknom číslo 1, tak môžeme vidieť že hodnoty sa pohybujú približne o 3 N menej. Tento fakt je spôsobený výrobným materiálom primárnej ochrany tohto vlákna. Čo sa týka procesu starnutia, tak okrem materiálu číslo 1 má páska tendenciu si ponechávať svoje fixačné vlastnosti, prípadne ich minimálne strácať ako sme namerali pri materiáli č. 1.

Výsledky odtrhových síl Eurotape kobercovej pásky boli skoro totožné s výsledkami pásky Tesa. Namerané odtrhové sily v okamihu od nalepenia sa pohybovali od 16 – 18 N. Čo sa týka procesu starnutia, tak taktiež ako predošlá testovaná páska svoju pevnosť postupom času stráca a odtrhové sily klesajú. Avšak pokiaľ sa pozrieme na túto pásku v porovnaní zo všetkými páskami pri meraní v okamihu od nalepenia, tak dosahované výsledky odtrhových síl patria medzi najvyššie.

Duct-Tape páska v momente od nalepenia dosahovala odtrhových síl 9,1 – 11,6 N. Taktiež jej odtrhové sily prudko klesajú s procesom starnutia. Táto páska nie je vhodná na fixovanie toho typu vlákna na akomkoľvek type testovaných materiálov.

Promipáska dosahovala v momente odnálepenia odtrhové sily v rozmedzí 15,3 – 21 N. Tieto hodnoty sú najvyššie zo všetkých testovaných pásk a to nie len v momente odnálepenia ale aj v procese starnutia. Po týždni odnálepenia môžeme vidieť, že odtrhové sily tejto pásky sa pohybujú v rozmedziach od 25 – 31 N. Taktiež môžeme vidieť, že na každom jednom type materiálu má tmel na páske tendenciu vytvrdnúť a tým pádom zvýšiť fixáciu. Pri samotnom meraní sme si všimli, že pokiaľ sa hodnota odtrhovej sily blížila ku 30 N tak došlo k pretrhnutiu vlákna.

Poslednou testovanou páskou bola páska VentureTape. Pri predchádzajúcom testovanom vlákne môžeme vidieť, že dosahovala najlepšie hodnoty odtrhových síl nameraných či už v momente odnálepenia alebo v procese starnutia. Pri tomto vlákne to bolo však naopak. V momente odnálepenia sme namerali odtrhové sily 4,2 – 11 N. Čo sú najmenšie namerané odtrhové sily. Svoju tendenciu vytvrdnutia akrylového tmelu na lepiacej časti si ponechala, ale jej odtrhové sily sa zvýšili po týždni odnálepenia len na 11,6 -15,3N.

Po zhodnotení odtrhových síl na vlákne číslo 2 si môžeme všimnúť, že fixácia tohto typu vlákna je náročnejšia oproti fixácii vlákna číslo 1. Pásky na tomto type vlákna fixovali menej až na výnimku Promipásky, ktorá fixovala na každom materiáli a oboch typoch vlákna najlepšie a to aj s pribúdajúcim časom odnálepenia na materiál.

Materiál	Odrhová sila [N]				
	Fixačná páska				
	Tesa	Duct-Tape	Promipáska	VentureTape	Kobercová páska
6	15,8	11,4	17,5	10,3	16
5	14,1	10	16,5	10,1	18
4	15,6	10,5	16,8	4,2	17,6
3	17,8	11,6	21	11	17,8
2	15,9	9,1	16,6	8	17,9
1	16,6	9,1	15,3	10,3	16,2
E(X)	16,0	10,3	17,3	9,0	17,3

Tabuľka 2.5: Priemery odtrhových síl v momente odnálepenia

Materiál	Odrhová sila [N]				
	Fixačná páska				
	Tesa	Duct-Tape	Promipáska	VentureTape	Kobercová páska
6	13,3	4,9	22	12,1	13,6
5	14,1	4	23,6	11,3	17
4	10,4	4,6	24,1	13,2	15,2
3	13,9	5,1	22,1	11,6	12,5
2	9,3	2,6	22,5	8,4	11,6
1	13	4,2	19,9	10	13,3
E(X)	12,3	4,2	22,4	11,1	13,9

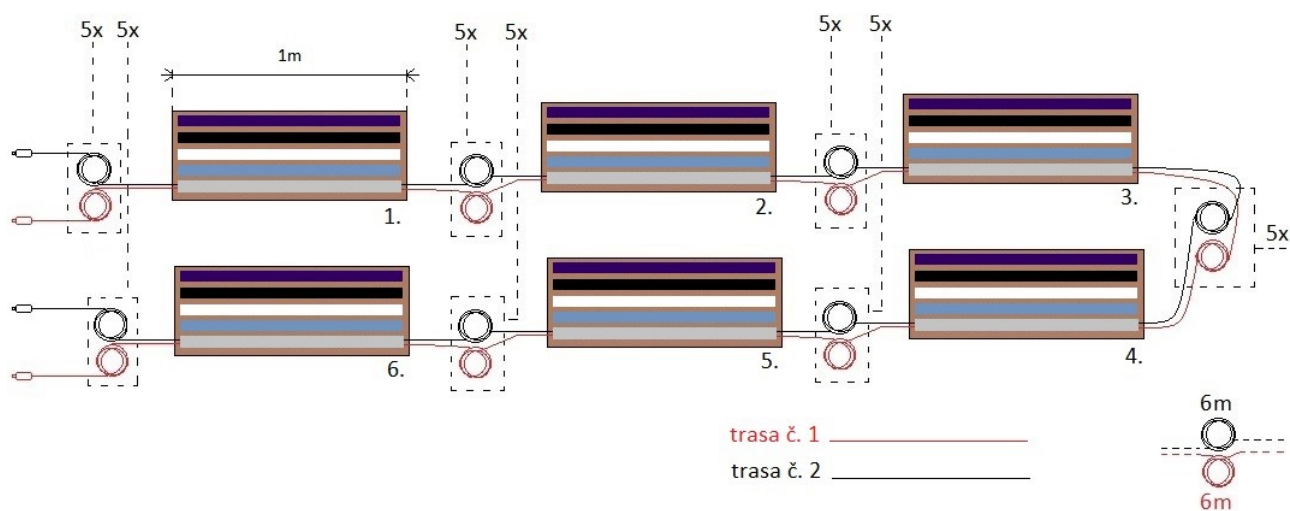
Tabuľka 2.6: Priemery odtrhových síl 48hodín odnálepenia

Materiál	Odrhová sila [N]				
	Fixačná páska				
	Tesa	Duct-Tape	Promipáska	VentureTape	Kobercová páska
6	13,9	7	26,7	15,3	12,9
5	16,6	6,3	28,7	13,1	15,9
4	16,8	7,5	25,8	14,2	16,4
3	14,7	4,8	31	14	14,1
2	17	4,6	25	11,6	12,7
1	12,1	2,5	27,5	14,1	13,7
E(X)	15,2	5,5	27,5	13,7	14,3

Tabuľka 2.7: Priemery odtrhových síl 168 hodín od nalepenia

V tabuľkách 2.5, 2.6, 2.7 môžeme vidieť stredné hodnoty nameraných odtrhových síl ku každej páske samostatne. Tieto hodnoty nám opäť pomáhajú určiť vhodnú fixačnú pásku bez ohľadu na fixačný materiál. V tabuľke číslo 2.7 môžeme vidieť, že v priemere dosahovala Promipáska najvyšších odtrhových síl v rámci všetkých testovaných materiálov. To znamená, že túto pásku by sme zvolili bez akýchkoľvek iných informácií o materiáloch na dlhodobé fixovanie optického vlákna č. 2.

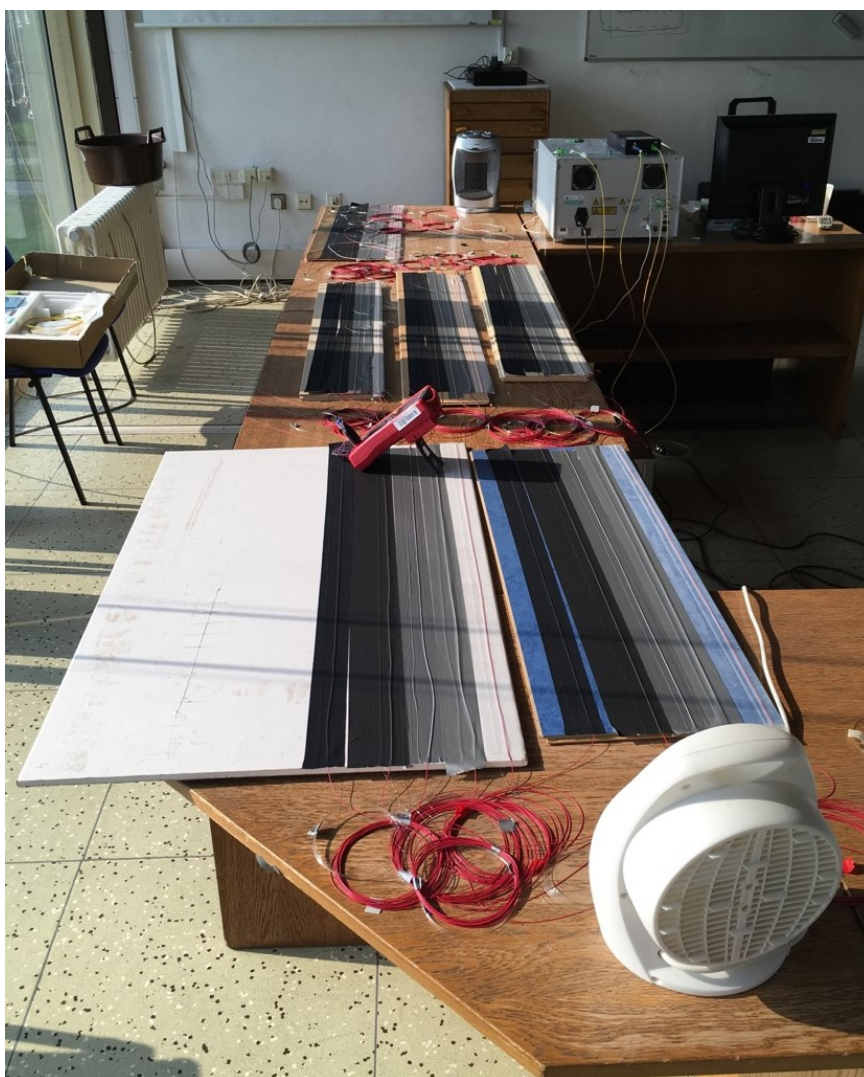
2.3 Meranie brillouinových frekvencií pomocou DSTS



Obrázok 2.4: Schéma merania

Na obrázku číslo 2.4 môžeme vidieť schému merania pre zistenie Brillouinových frekvencií oboch testovaných vlákien. Z tejto schémy vidíme, že obsahuje dve trasy vlákien. Červená trasa pre vlákno číslo 1 a čierna trasa pre vlákno číslo 2. Schéma obsahuje všetkých šesť testovaných podlahových materiálov na ktorých sú fixačnými páskami prilepené senzorkové vlákna. Dĺžka fixačnej pásky ktorou boli vlákna prilepené bola približne 1 meter na každom materiáli. Pred každým a za každým materiálom na ktorom boli vlákna fixované boli navinuté 6 metrové cievky z každého vlákna kvôli následnej prehľadnosti pri vyhodnocovaní meraní so systémom DSTS. Druhy fixačných pásek sú v schéme farebne rozlíšené. Pokiaľ si zhodnotíme tieto dve trasy, ktoré sú na obrázku číslo 16, tak môžeme vidieť, že prechádzajú všetkými šiestimi materiálmi a na každom z nich sú fixované rovnakým

typom fixačnej pásky. Pre ušetrenie miesta na materiáli sme sa rozhodli fixovať tieto dve trasy na každý materiál pod jednu fixačnú pásku. Z toho predpokladu vyplýva, že by sme mali mať celkovo pre 5 testovaných fixačných pásek dokopy 10 trás. Pre zefektívnenie merania a pre nedostatok konektorov sme sa rozhodli následne tieto trasy navzájom zvariť a tým pádom urobiť dve trasy. Na schéme merania vidíme, že dvojica trás končí za materiálom číslo 6 dvoma konektormi. Po úprave sme konektory za materiálom číslo 6 odstránili a trasy viedli zasa do materiálu číslo 1 na ktorom sme ich zafixovali pod ďalšiu testovanú fixačnú pásku. Týmto spôsobom sme navzájom zvarili všetky trasy a celkovo nám vznikli dve približne 250 metrové trasy pri ktorých sme s pôvodných 20tich konektorov znížili počet na 4 konektory. Každá trasa obsahovala 35 namotanych cievok po približne 6 metrov to je 210 metrov plus trasa ktorá bola fixovaná na všetkých podlahových materiáloch obsahovala približne 30 metrov a 10 metrov vlákna bolo dohromady použitého na vlákno pred a za každou cievkou.



Obrázok 2.5: Meracie pracovisko

Na obrázku č. 2.5 môžeme vidieť meracie pracovisko. Meranie Brillouinových frekvencií prebiehalo v troch teplotných rozmedziach a to meranie za teploty 19 °C, pokojovej teploty 24 °C a teploty 32 °C. Treba podotknúť, že táto teplota bola vždy nameraná pod fixačnými páskami. K odmeraniu teploty bol použitý merací prístroj s termočlánkom. Ku dosiahnutiu teploty 32 °C boli použité 2 klimatizácie a 2 elektrické ohrievače.



Obrázok 2.6: Test teploty pri 32 °C

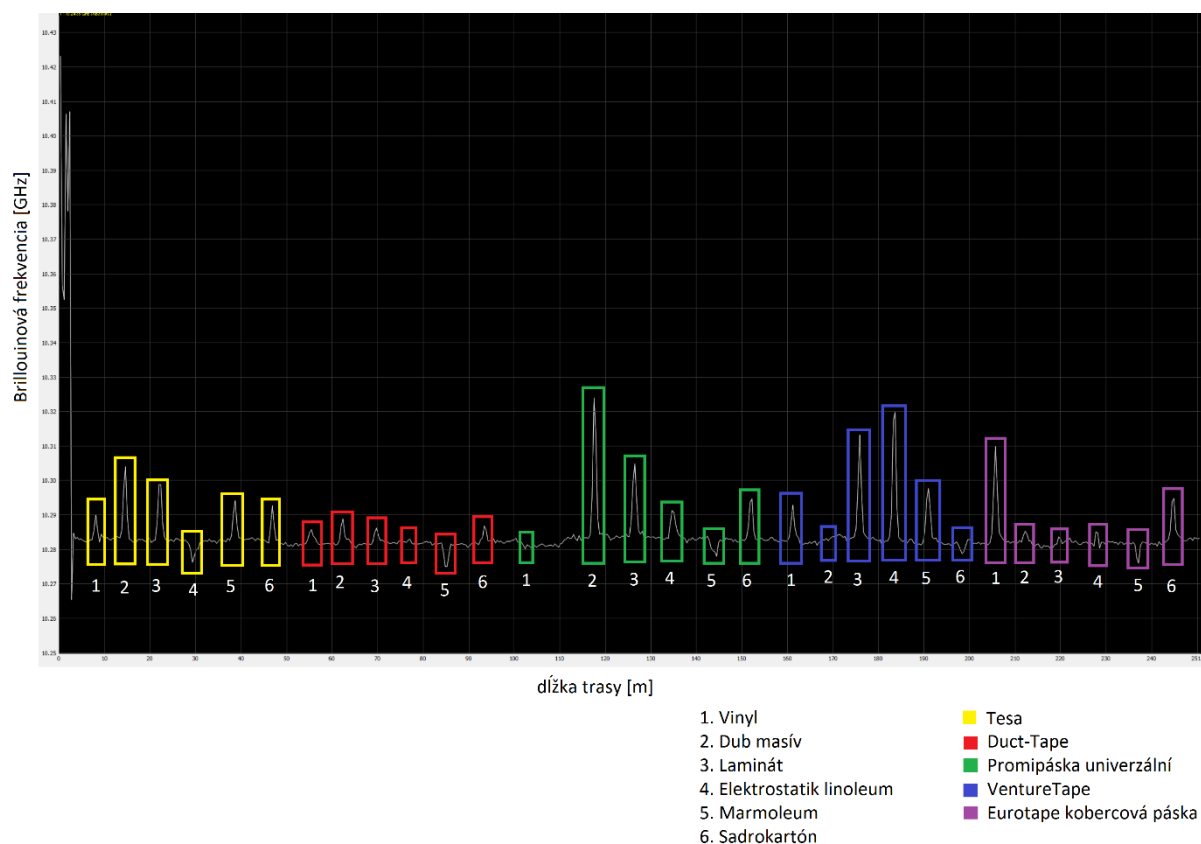
Na obrázku č. 2.6 môžeme vidieť, že meracie pracovisko je rozdelené na 3 časti, na ktorých sú uložené podlahové materiály. Pri meraní za zníženej a zvýšenej teploty muselo byť docielené, aby požadovaná teplota bola dosiahnutá na všetkých troch častiach meracieho pracoviska. Na obrázku číslo 18 môžeme vidieť, že test teploty prebehol na všetkých troch častiach materiálu s nameranou hodnotou 32 °C. Termočlánok bol pri každom teste umiestnený pod fixačnú pásku, aby požadovaná teplota nebola nameraná v okolí. Pri meraní za zvýšenej teploty sa teplota vzduchu pohybovala okolo 35 °C.



Obrázok 2.7: Test teploty pri 19 °C

Test bol taktiež prevedený pri meraní teploty 19 °C, pri ktorom okolitá teplota vzduchu dosahovala približne 17 °C. Pri meraní za zníženej teploty boli použité klimatizácie a taktiež pri znižovaní na požadovanú teplotu pomohli otvorené okná v laboratóriu. Teploty 32 °C a 19 °C, za ktorých boli merania realizované boli maximálne a minimálne možné dosiahnuté teploty z ohľadom na meracie pracovisko a laboratórium v ktorom meranie prebiehalo.

2.3.1 Meranie pre vlákno č. 1



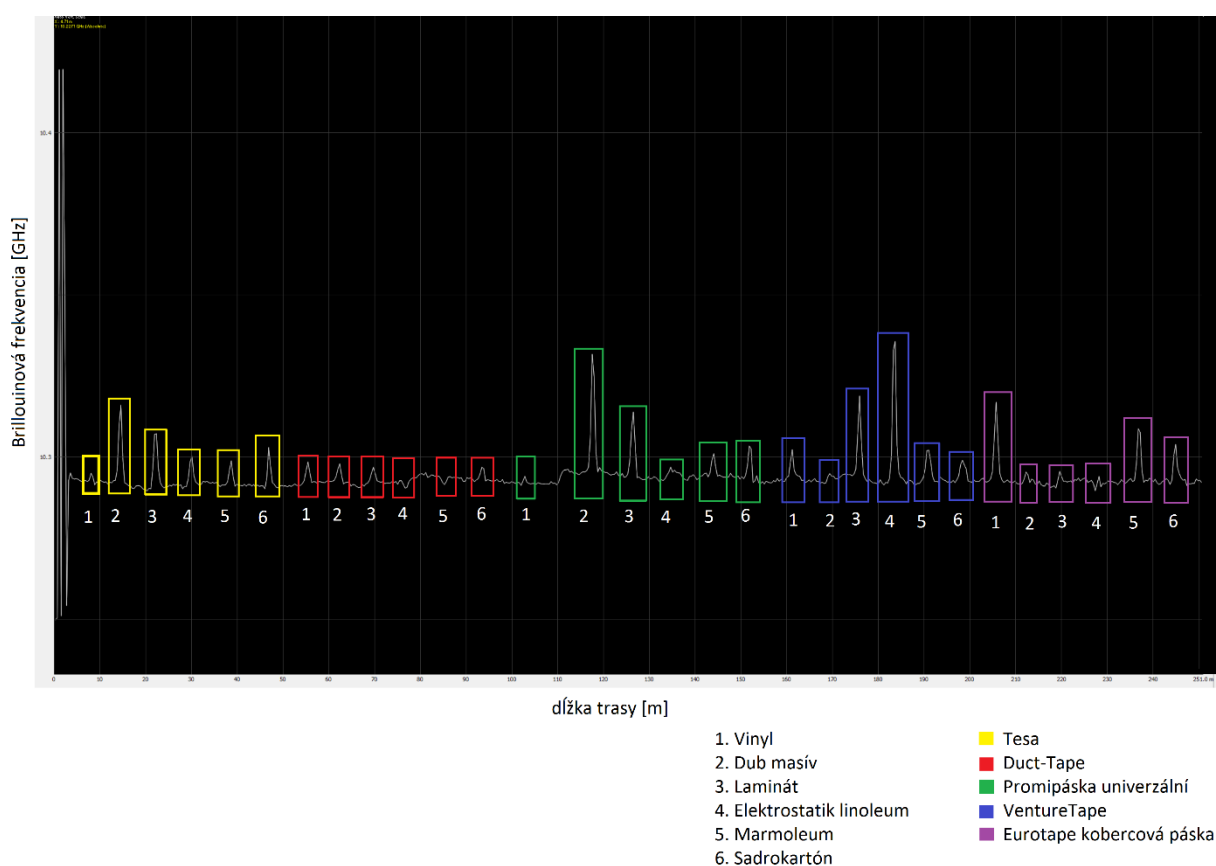
Graf 2.13: Analýza Brillouinových frekvencií pri 19 °C

V grafe 2.13 môžeme vidieť namerané Brillouinové frekvencie na všetkých testovaných podlahových materiáloch pre všetky fixačné pásky. Každá farebne vyznačená nameraná frekvencia reprezentuje chovanie fixačných pásek na daných materiáloch. Toto meranie bolo realizované v optickom laboratóriu pri teplote 19 °C. Celkovo v grafe môžeme vidieť 30 vrcholov. Vrcholy sú farebne označené v poradí od 1-6. Farby reprezentujú označenie použitej fixačnej pásy a poradie pod nimi určuje typ materiálu na ktorom bola Brillouinová frekvencia nameraná.

Materiál	Brillouinová frekvencia [GHz]				
	Fixačná páska				
	Tesa	Duct-Tape	Promipáska	VentureTape	Kobercová páska
Vinyl	10,2901	10,2857	10,2813	10,2928	10,3099
Dub masív	10,3040	10,2889	10,3240	10,2825	10,2853
Laminát	10,2989	10,2862	10,3049	10,3132	10,2836
Elektrostatik	10,2762	10,283	10,2913	10,3198	10,2850
Marmoleum	10,2941	10,275	10,278	10,2977	10,2760
Sadrokartón	10,2927	10,2868	10,2945	10,2788	10,2948
E(X)	10,2927	10,2843	10,2957	10,2975	10,2891

Tabuľka 2.8: Tabuľka nameraných hodnôt pri 19 °C

V tabuľke číslo 2.8 sú v každom riadku tučným písmom označené maximálne namerané Brillouinové frekvencie pre konkrétny typ podlahového materiálu. Na vinyle a sadrokartóne najlepšie fixovala kobercová páska. Na dub masíve najlepšie fixovala Promipáska a na lamináte, elektrostatiku a marmoleu to bola páska VentureTape. Na sadrokartóne dosiahla najvyššie hodnoty kobercová páska Eurotape. Pokiaľ sa pozrieme na stredné hodnoty Brillouinových frekvencií pre každú fixačnú pásku, môžeme usúdiť, že v priemere páska VentureTape dosahovala najvyššie nameraná Brillouinové frekvencie 10,2975 GHz bez ohľadu materiál, na ktorom bola fixovaná. V poradí druhá s hodnotou 10,2957 GHz fixovala Promipáska. Tretia bola páska Tesa s hodnotou 10,2927 GHz. Na štvrtom mieste kobercová páska s hodnotou 10,2891 GHz a najhoršie fixovala Duct-Tape pri priemernej Brillouinovej frekvencii 10,2843 GHz.

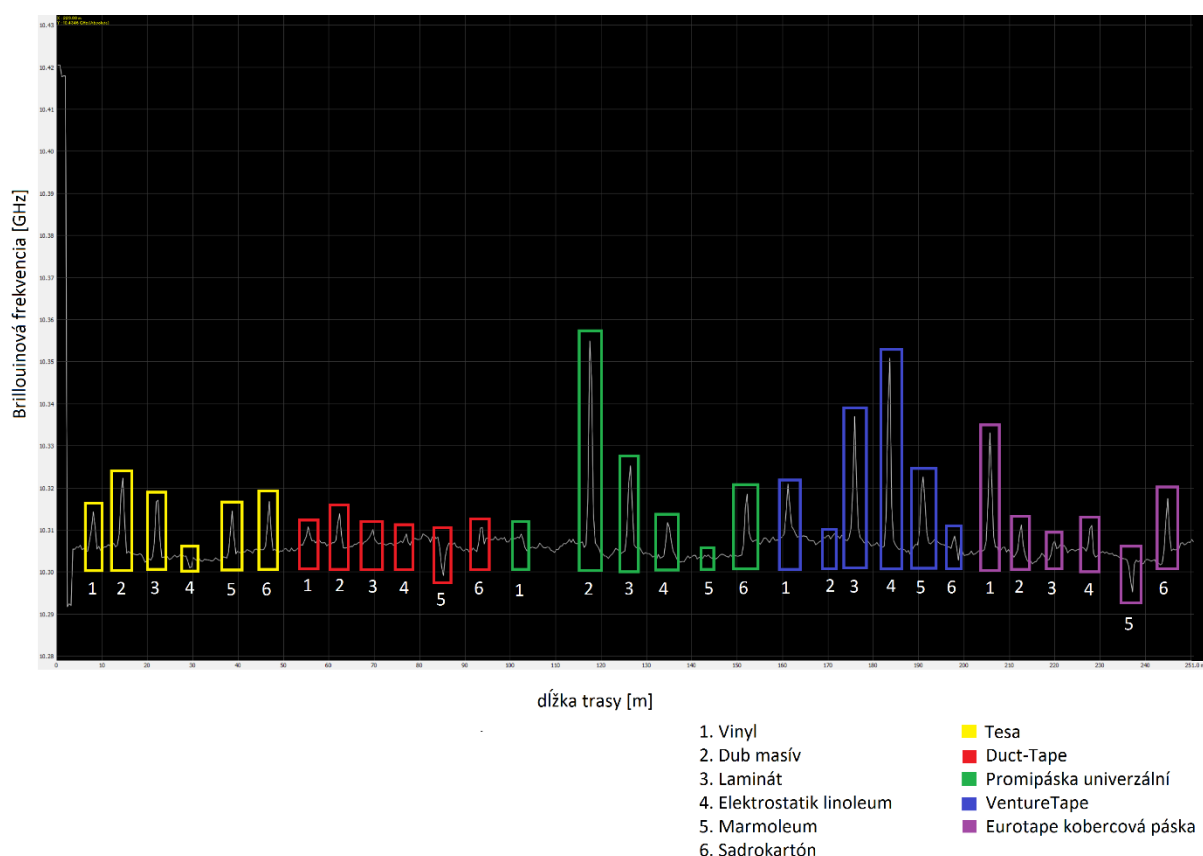


Graf 2.14: Analýza Brillouinových frekvencií pri 24 °C

Materiál	Brillouinová frekvencia [GHz]				
	Fixačná páska				
	Tesa	Duct-Tape	Promipáska	VentureTape	Kobercová páska
Vinyl	10,295	10,2985	10,2941	10,3023	10,3169
Dub masív	10,316	10,2979	10,3317	10,2949	10,2954
Laminát	10,3072	10,2969	10,3139	10,3188	10,2956
Elektrostatik	10,3002	10,2904	10,2969	10,3357	10,294
Marmoleum	10,2988	10,2916	10,3011	10,3021	10,3087
Sadrokartón	10,3029	10,2969	10,3035	10,299	10,304
E(X)	10,3034	10,2954	10,3069	10,3088	10,3024

Tabuľka 2.9: Tabuľka nameraných hodnôt pri 24 °C

V tabuľke číslo 2.9 môžeme vidieť namerané hodnoty brillouinových frekvencií zobrazených v grafe číslo 2.14. Z nameraných hodnôt môžeme usúdiť ktorá páska na danom type materiálu najlepšie fixovala vlákno pri pokojovej teplote. Z toho vyplýva, že sme na nej namerali najvyššie Brillouinové frekvencie. Kobercová páska dosahovala pri pokojovej teplote najvyššie Brillouinové frekvencie na vinyle, marmoleu a sadrokartóne. Na podlahe Elektrostatik a lamináte to bola páska VentureTape a na masíve Promipáska. V celkovom zhodnotení keď sa pozrieme na výsledky stredných hodnôt $E(X)$ bez ohľadu na použitý podlahový materiál, môžeme vidieť že najlepšie fixovala páska VentureTape s priemerom nameraných brillouinových frekvencií 10,3088 GHz. Po nej druhá najvhodnejšia fixačná páska bola Promipáska s nameranou frekvenciou 10,3069 GHz. Tretia v poradí skončila Tesa s hodnotami frekvencie 10,3034 GHz. Štvrtá v poradí skončila Eurotape kobercová páska pri strednej hodnote frekvencií 10,3024. Posledná páska ktorá fixovala najmenej bola Duct-Tape s nameranou hodnotou 10,2954. Pokiaľ ale zoberieme v ohľad aj typ materiálu na ktorý danú fixačnú pásku upevníme, tak z tabuľky číslo 2.9 môžeme vyčítať najvhodnejšie pásy pre daný materiál. V tabuľke číslo 2.9 sú zobrazené v riadku tučným písmom najvyššie namerané frekvencie pre jednotlivé materiály. Na vinyl najlepšie priľnula Eurotape kobercová páska. Na dub masív Promipáska. Na podlahu z laminátu a linolea elektrostatik to bola páska VentureTape. Na marmoleum a sadrokartón najlepšie priľnula opäť Eurotape kobercová páska. Z týchto výsledkov nám vyplýva to, že záleží na aký typ podlahového materiálu optické vlákno fixujeme a taktiež záleží aj na type fixačných pások, ktoré sú použité.

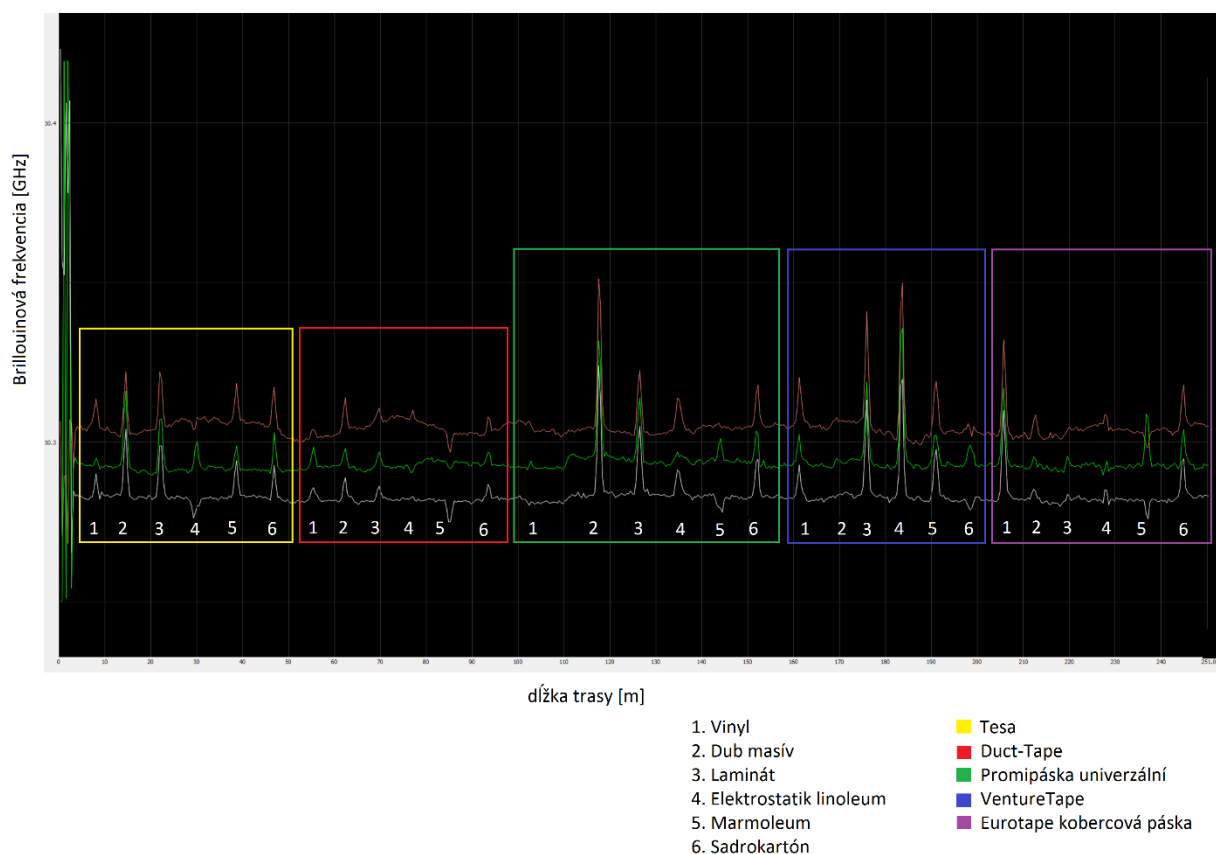


Graf 2.15: Analýza Brillouinových frekvencií pri 32 °C

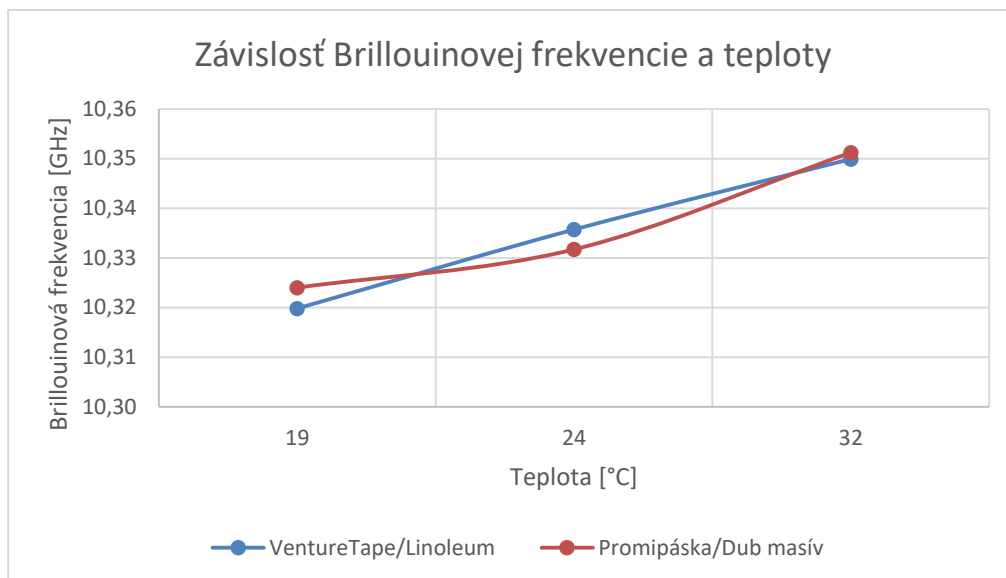
Materiál	Brillouinová frekvencia [GHz]				
	Fixačná páska				
	Tesa	Duct-Tape	Promipáska	VentureTape	Kobercová páska
Vinyl	10,3135	10,304	10,3065	10,3203	10,3322
Dub masív	10,3221	10,3139	10,3512	10,3077	10,3085
Laminát	10,3221	10,3106	10,3224	10,3409	10,3048
Elektrostatik	10,3038	10,31	10,3138	10,3499	10,3087
Marmoleum	10,3184	10,2969	10,306	10,319	10,2982
Sadrokartón	10,3172	10,3079	10,3179	10,3018	10,3178
E(X)	10,3162	10,3072	10,3196	10,3233	10,3117

Tabuľka 2.10: Tabuľka nameraných hodnôt pri 32 °C

V tabuľke číslo 2.10 sú v každom riadku tučným písmom označené maximálne namerané Brillouinové frekvencie pre konkrétny typ podlahového materiálu. Na vinyle najlepšie fixovala kobercová páska. Na dub masíve najlepšie fixovala Promipáska. VentureTape najlepšie fixovala na lamináte, linoleum a marmoleu. Pri sadrokartóne to bola Promipáska.

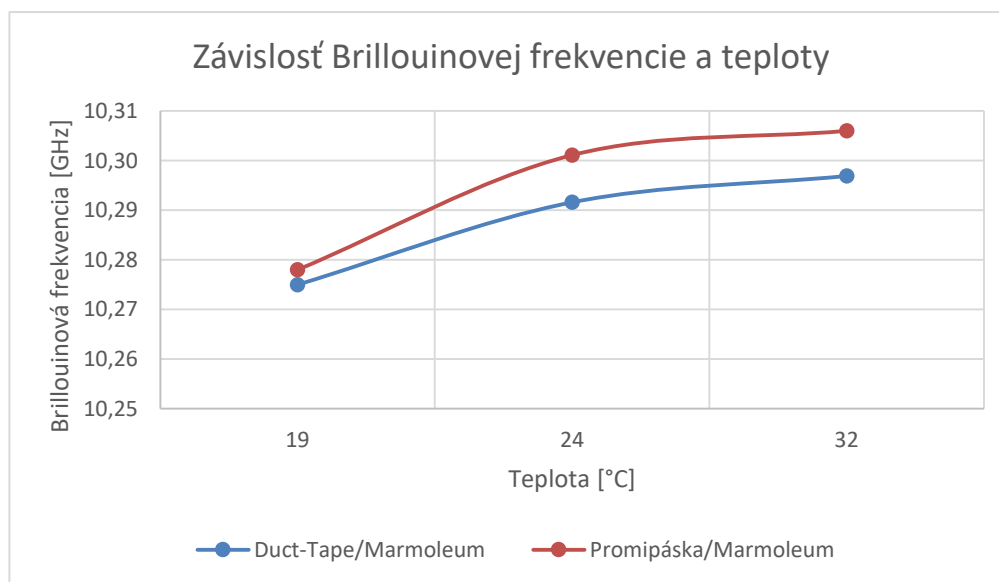


Graf 2.16: Teplotné porovnanie



Graf 2.17: *Najlepšie dvojice*

V grafe č. 2.17 môžeme vidieť závislosť Brillouinovej frekvencie a teploty. V grafe sú vykreslené závislosti dvoch pásov, pri ktorých boli namerané najvyššie Brillouinové frekvencie pre vlákno č. 1. Predpoklad vývoja závislosti Brillouinovej frekvencie a teploty bol, že s rastúcou teplotou bude rásť aj Brillouinová frekvencia. Modrá úsečka nám v grafe popisuje rast Brillouinovej frekvencie so stúpajúcou teplotou pre pásku VentureTape fixovanej na linoleum. Červená popisuje charakter Promipásky prilepenej na dube masíve.



Graf 2.18: *Najhoršie dvojice*

V grafe 2.18 môžeme vidieť vývoj sledovaných hodnôt pre dve najmenej vhodné dvojice fixačnej pásky a podlahového materiálu. Z grafu môžeme usúdiť, že aj pri dvoch najnevhodnejších kombináciách s rastúcou teplotou rastie aj Brillouinová frekvencia. Avšak oproti najvhodnejším kombináciám kde môžeme postrehnúť skôr lineárny rast hľadanej závislosti, pri najhorších kombináciách je trend tohto rastu logaritmický.

2.3.2 Zhodnotenie

V grafe číslo 2.16 môžeme vidieť porovnanie všetkých troch meraní. Najbližšie k ose x sa nachádza meranie vykreslené bielou farbou, ktoré odpovedá Brillouinovým frekvenciám nameranými pri teplote 19 °C. Nad ním je zelenou farbou zobrazené meranie pri teplote 24 °C. A najvyššie Brillouinové frekvencie dosahovalo meranie vykreslené červenou farbou pri teplote 32 °C. Z tohto grafu môžeme detailnejšie pochopiť správanie sa fixačných pások na všetkých testovaných materiáloch v teplotných rozdieloch. Podľa očakávania vidieť zmeny Brillouinových frekvencií meniacimi sa s teplotnými rozdielmi pri meraniach. Z grafu môžeme usúdiť, že teplotné zmeny majú vplyv na Brillouinové frekvencie a tým pádom aj na fixačné vlastnosti pások. V tabuľkách 8, 9, 10 môžeme vidieť tučným písmom označené najvyššie možné namerané Brillouinové frekvencie pri každom testovanom materiáli. Pokiaľ si tieto hodnoty porovnáme v teplotných rozdieloch, môžeme vidieť, ktoré pásky dosahovali najlepšie výsledky.

Páska Tesa, ktorej hodnoty sú v grafe č. 2.16 ohraničené žltým štvorcom, nedosiahla na žiadnom testovanom materiáli maximálnych hodnôt oproti ostatným fixačným páskam. To znamená, že vždy existovala fixačná páska, ktorej Brillouinové frekvencie boli pri práve testovanom materiáli vyššie. Pri fixovaní vlákna číslo 1 nie je vhodné použiť fixačnú pásku Tesa na žiadnom materiáli. Pokiaľ sa pozrieme na výsledky nameraných hodnôt pásky Tesa na jednotlivých materiáloch, môžeme vidieť, že na materiáloch 1, 2, 3, 5, 6 si páska v teplotných rozdieloch ponecháva svoje fixačné vlastnosti. Pri materiáli č. 4 (Elektrostatik linoleum) si môžeme všimnúť prepád nameraných Brillouinových frekvencií pri 32 °C a 19 °C. Z toho je možné usúdiť, že táto fixačná páska v spojení s materiálom č.4 v nižších a vyšších teplotách stráca svoje fixačné vlastnosti.

Páska Duct-Tape ktorej hodnoty sú v grafe č. 2.16 ohraničené červeným štvorcom, dosiahla v porovnaní s ostatnými páskami najnižšie namerané Brillouinové frekvencie. Táto páska nie je vhodná pri fixovaní optických vlákien. Konkrétne pri materiáli č. 5 (Marmoleum) boli namerané pri každej sledovanej teplote prepady Brillouinových frekvencií.

Promipáska univerzálni ktorej hodnoty sú v grafe č. 2.16 ohraničené zeleným štvorcom, fixovala zo všetkých pások najlepšie na materiáli č. 2 (Dub masív) a tieto maximá dosahovala aj pri teplotných zmenách. Svoje maximum dosiahla taktiež pri materiáli č. 6 (Sadrokartón) pri teplote 32 °C a pri teplotách 19 °C a 24 °C dosahovala skoro totožné frekvencie ako kobercová páska Eurotape, ktorá na tomto materiáli dosiahla pri 19 °C a 24 °C svoje maximá. Z výsledkov je možné zhodnotiť, že pásku je najvhodnejšie použiť pri materiáli 2 a 6 bez ohľadu na pracovné teploty materiálov a pások. Na vinyle táto fixačná páska nedosahovala dobré fixačné vlastnosti. Na ostatných materiáloch dosahovala priemerné Brillouinové frekvencie s výnimkou materiálu č. 5 na ktorom fixovala len v prípade pokojovej teploty. Pri 32 °C môžeme vidieť značnú stratu fixačných vlastností pásky a pri 19 °C totálny prepád Brillouinovej frekvencie.

Páska VentureTape je v grafe č. 2.16 označená modrým štvorcom. Po celkovom zhodnotení môžeme túto pásku označiť za najlepšie fixujúcu a to s maximálnymi nameranými hodnotami pri materiáloch 3 (Laminát) a 4 (Elektrostatik linoleum) pri všetkých teplotných rozdieloch. Svoje maximá dosahovala taktiež aj pri materiáli č.5 (Marmoleum) okrem pokojovej teploty, kde lepšie fixovala kobercová páska Eurotape. Pri materiáli č. 1 (Vinyl) dosahovala ako druhá najvyššie namerané hodnoty. Jediný materiál na ktorom dosahovala nízke hodnoty bol sadrokartón, pri ktorom je vidieť hlavne prepád frekvencie pri meraní za 19 °C.

Kobercová páska Eurotape je v grafe 2.16 ako posledná ohraničená fialovým štvorcom. Jej fixačné vlastnosti je možné uplatniť hlavne pri materiáli č.1 (Vinyl), kde dosahovala pri všetkých teplotných rozdieloch svoje maximálne hodnoty. Pri materiáloch č. 2, 3, 4 nie je vhodné fixovanie touto fixačnou páskou. Ojedinelý prípad nastal pri fixovaní na marmoleum, kde Brillouinová frekvencia nameraná za pokojovej teploty 24 °C bola vyššia ako frekvencia tejto pásky za zvýšenej teploty 32 °C. Taktiež pri teplote 19 °C môžeme vidieť prepád, z čoho je samozrejmé, že fixovanie tejto pásky na marmoleum je vhodné len za pokojovej teploty. Tento jav kde páska fixovala dostatočne za pokojovej teploty a následne pri zmenách teploty fixácia značne klesla, môžeme vidieť u marmolea pri fixovaní Duct-Tape páskou a Promipáskou. Z toho vyplýva, že ide o problém v materiáli na ktorý pásku upevňujeme a nie v konkrétnej fixačnej páske.

Materiál	Fixačná páska														
	Tessa			Duct-Tape			Promipáska			VentureTape			Kobercová páska		
	19°C	24 °C	32 °C	19°C	24 °C	32 °C	19°C	24 °C	32 °C	19°C	24 °C	32 °C	19°C	24 °C	32 °C
Vinyl															
Dub masív															
Laminát															
Elektrostatik															
Marmoleum															
Sadrokartón															

Tabuľka 2.11: *Vyhodnotenie*

Pre prehľadnosť sú v tabuľke č. 2.11 zelenou farbou označené fixačné pásky s najvyššími Brillouinovými frekvenciami pri všetkých testovaných teplotách.

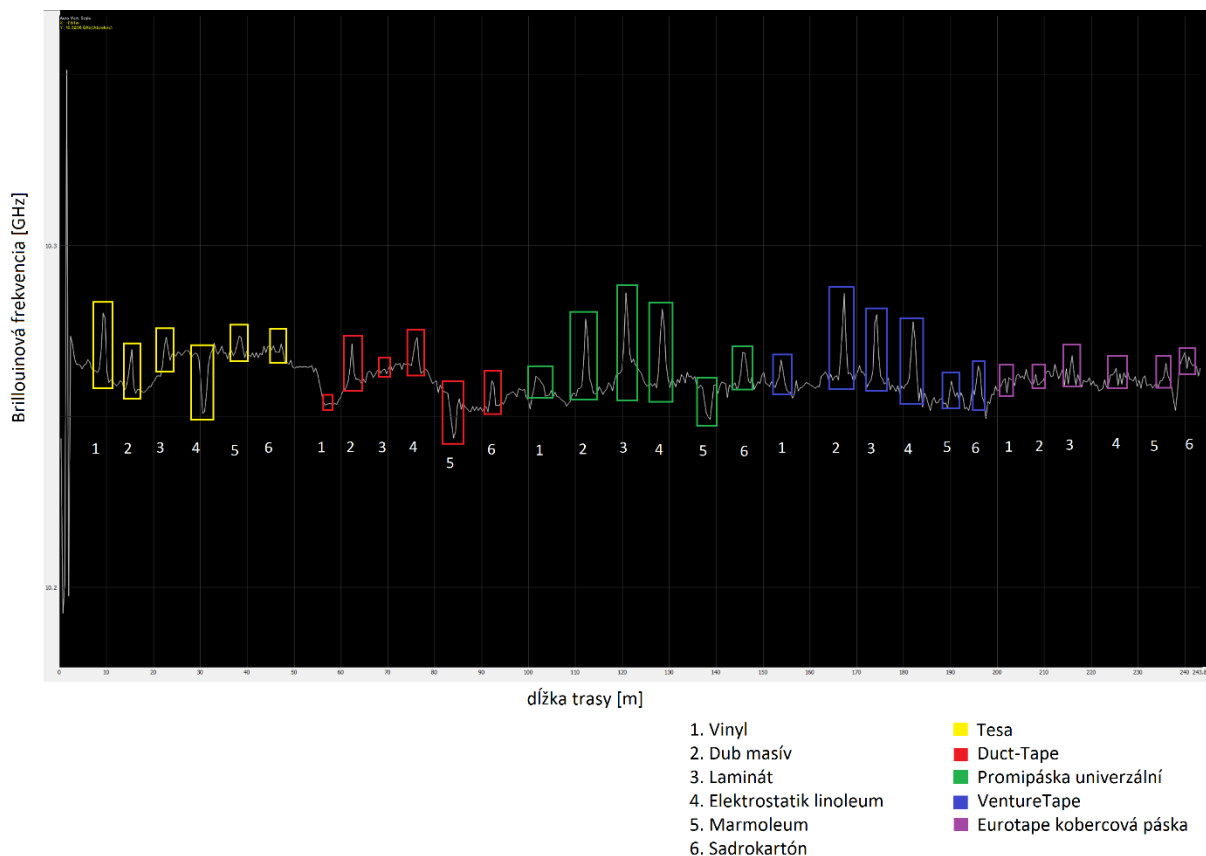
2.3.3 Meranie pre vlákno č. 2

Meranie a celkovo práca s vláknom č. 2 bola omnoho náročnejšia oproti vláknu č. 1. Toto vlákno sa skladalo len z primárnej ochrany, to znamená, že bolo veľmi krehké a náchylné na pretrhnutie a poškodenie pri fixovaní do meracej zostavy. Taktiež bolo možné postrehnúť, že ochrana vlákna pri odmotávaní z optického zväzku bola na určitých miestach poškodená a opotrebovaná. Trasa č. 2 ktorá pozostávala z tohto vlákna mala celkom 243,8m.



Obrázok 2.8: Kontrola vlákna č.2

Po navarení konektorov a následnom prvom meraní neprebehla konfigurácia v systéme DSTS. Na danej trase nebolo namerané žiadne napätie. Dôvod bol v zlom zware na trase a v prerušenom vlákne, ktoré sa pretrhlo pri fixácii o hranu podlahového materiálu. S pomocou optického zdroju svetla, ako môžeme vidieť na obrázku č. 2.8, prebehla vizuálna kontrola trasy, ktorá mala za úlohu detekovať vyviazané svetlo z vlákna. Po opravách zvarov bolo napätie dostačujúce a konfigurácia prebehla bezproblémovo.



Graf 2.19: Analýza Brillouinových frekvencií pri 19 °C

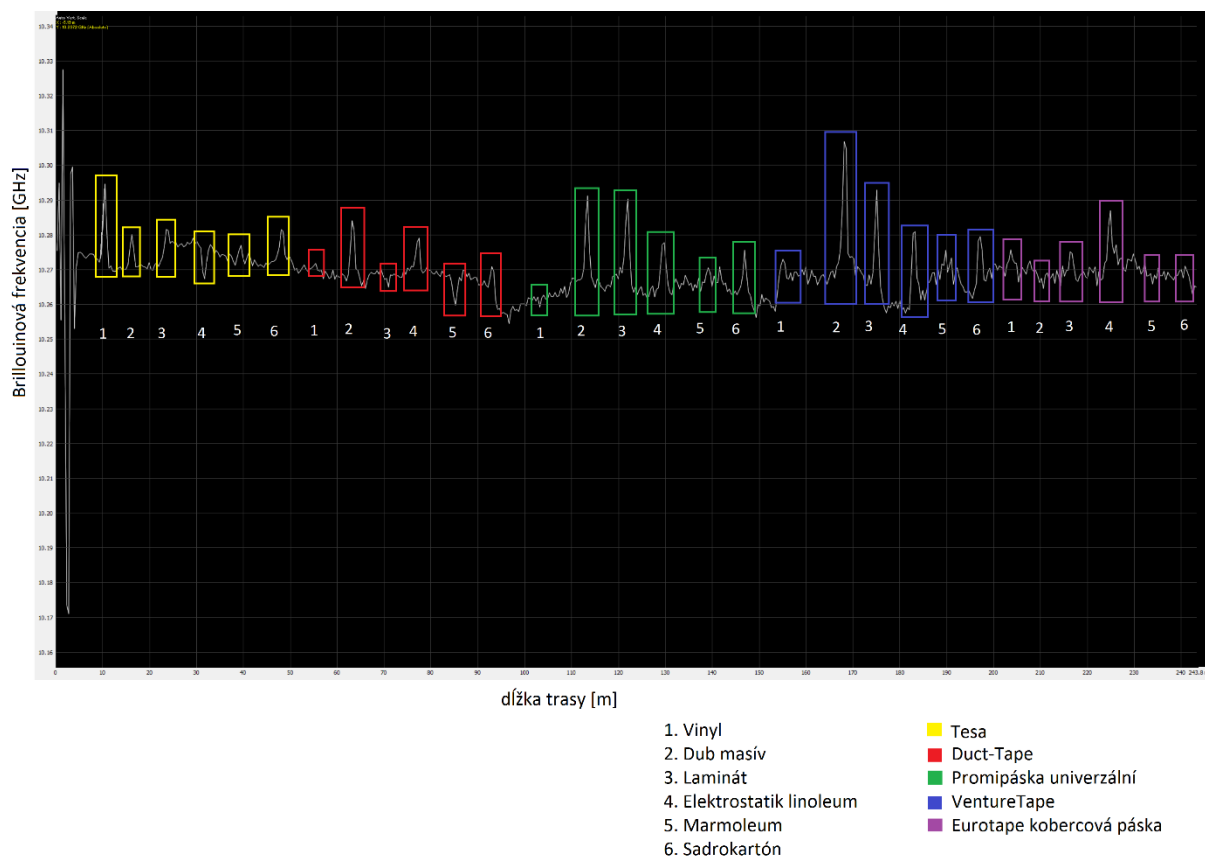
Na grafe č. 2.19 môžeme vidieť namerané Brillouinové frekvencie pri teplote 19 °C. Vo výslednom grafe je vidieť najmä nestabilita v nameraných frekvenciách. Tento fakt bol spôsobený už v úvode spomenutými vadami a problémami na trase pri fixácii tohto vlákna. Analýza tejto trasy a správne označenie nameraných extrémov bola omnoho prácnejšia ako pri vlákne č.1. K správnej analýze extrémov v grafe pomohlo rozdelenie celej dĺžky trasy na jednotlivé úseky a následne dôkladné dohľadanie a rozpoznanie vrcholov reprezentujúcich Brillouinové frekvencie fixačných pásek.

Materiál	Brillouinová frekvencia [GHz]				
	Fixačná páska				
	Tesa	Duct-Tape	Promipáska	VentureTape	Kobercová páska
Vinyl	10,2802	10,2646	10,2522	10,2666	10,2591
Dub masív	10,2696	10,2713	10,2785	10,286	10,2575
Laminát	10,2732	10,2625	10,2861	10,2798	10,2678
Elektrostatik	10,251	10,2731	10,2777	10,2776	10,2621
Marmoleum	10,2735	10,2437	10,2491	10,2523	10,2591
Sadrokartón	10,2712	10,2604	10,2687	10,2647	10,2518
E(X)	10,2698	10,2626	10,2687	10,2712	10,2596

Tabuľka 2.12: Tabuľka nameraných hodnôt pri 19 °C

V tabuľke č. 2.12 môžeme vidieť extrémny nameraných Brillouinových frekvencií zobrazených v grafe č. 2.19. Páska Tesa dosahovala najvyššie namerané frekvencie pri materiáloch vinyl, marmoleum a sadrokartón. Promipáska najlepšie fixovala na lamináte a linoleu a VentureTape na dube masíve. V priemere dosiahla najvyššie hodnoty páska VentureTape a po nej Tesa a Promipáska, ktoré

mali skoro totožné namerané stredné hodnoty. Štvrtá v poradí fixácie bola páska Duct-Tape a najmenšie frekvencie dosahovala kobercová páska Eurotape.

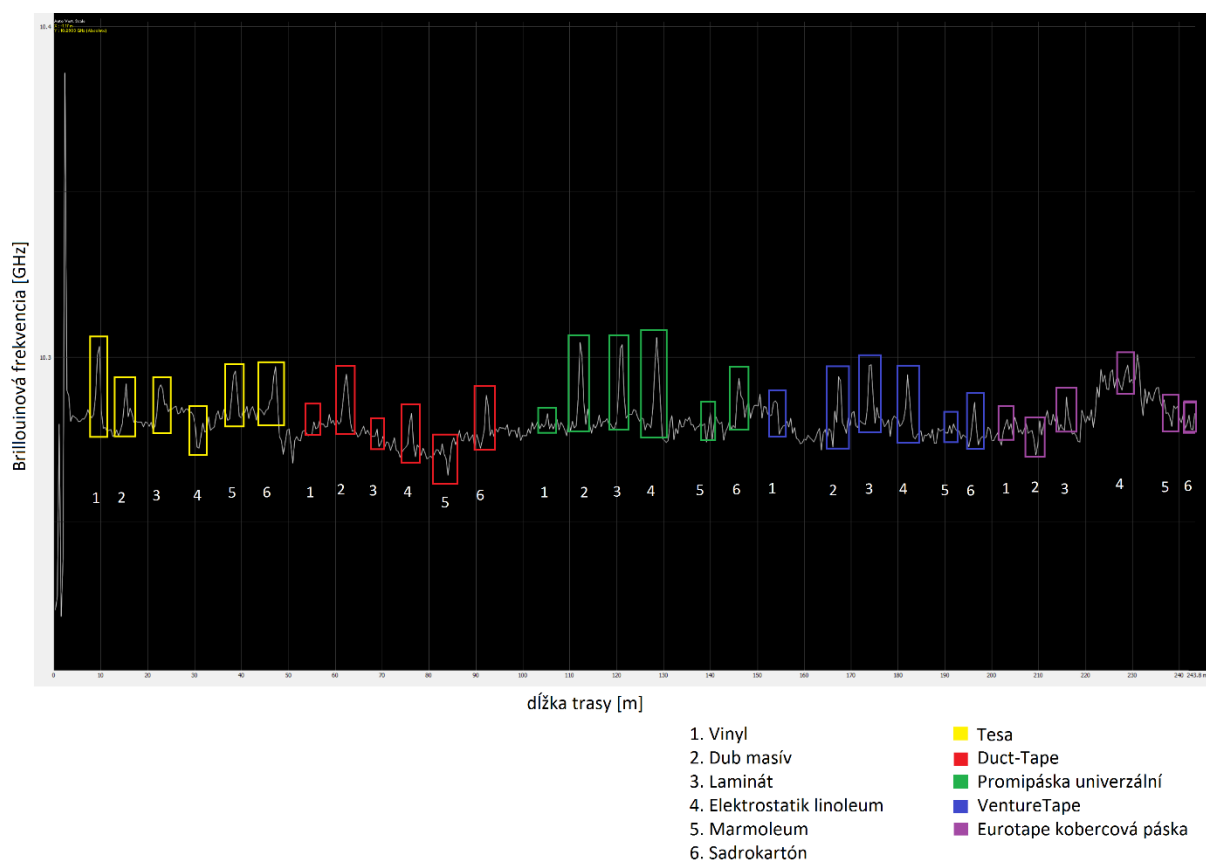


Graf 2.20: Analýza Brillouinových frekvencií pri 24 °C

Materiál	Brillouinová frekvencia [GHz]				
	Fixačná páska				
	Tesa	Duct-Tape	Promipáska	VentureTape	Kobercová páska
Vinyl	10,2946	10,2713	10,2592	10,273	10,2757
Dub masív	10,2801	10,2841	10,2912	10,3068	10,2654
Laminát	10,2816	10,265	10,2903	10,2929	10,2751
Elektrostatik	10,2674	10,279	10,2814	10,2809	10,2869
Marmoleum	10,277	10,2598	10,2708	10,2755	10,2659
Sadrokartón	10,2815	10,2709	10,2756	10,2795	10,2702
E(X)	10,2804	10,2717	10,2781	10,2848	10,2732

Tabuľka 2.13: Tabuľka nameraných hodnôt pri 24 °C

Pri meraní za pokojovej teploty dosahovala najvyššie Brillouinové frekvencie Tesa. V tabuľke číslo 2.13 môžeme vidieť, že svoje maximum dosiahla na vinyle, marmoleum a sadrokartóne. VentureTape dosahovala najvyššie výsledky pri materiáli dub masív a laminát. Kobercová páska dosiahla najvyššiu hodnotu frekvencie len pri materiáli linoleum. Pokiaľ sa pozrieme na stredné hodnoty E(X), môžeme vidieť, že v priemere najvyššie frekvencie dosahovala VentureTape a Tessa, ktoré tieto výsledky potvrdili aj na jednotlivých materiáloch.

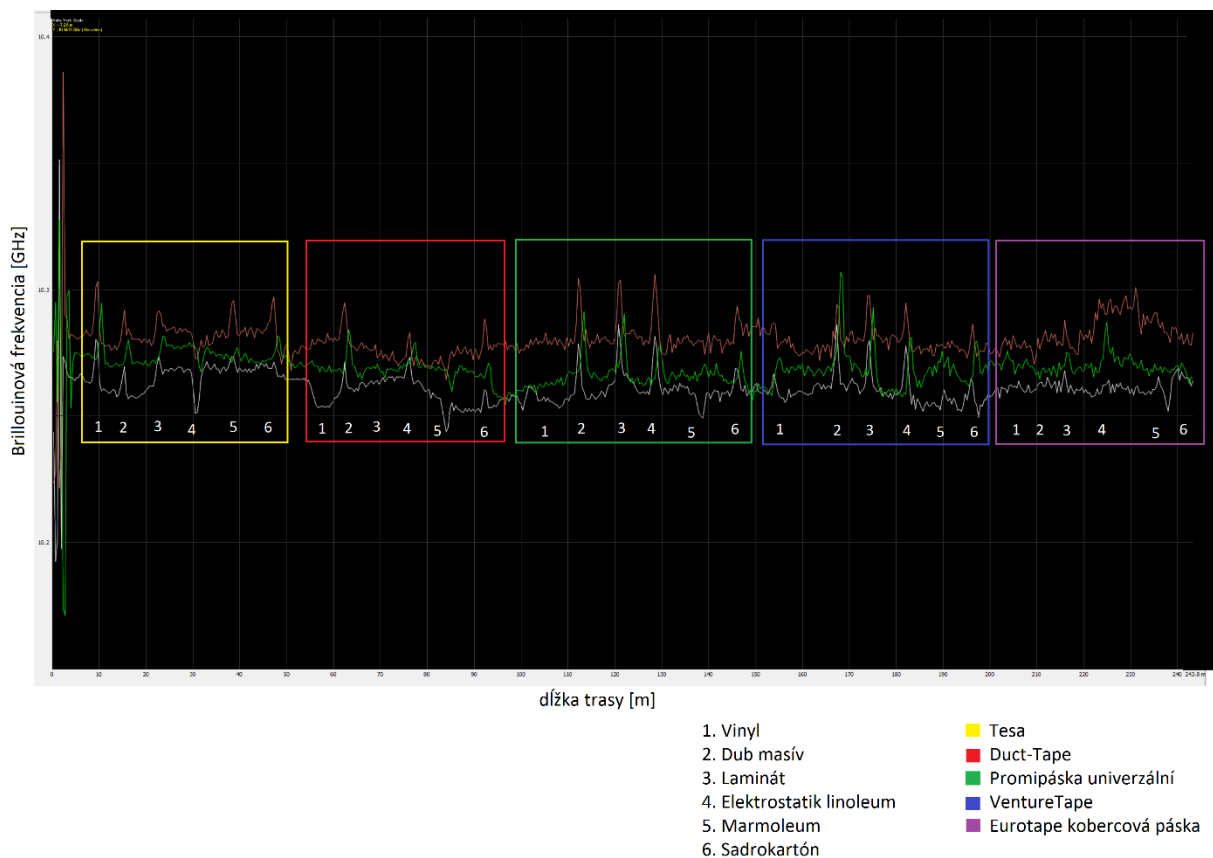


Graf 2.21: Analýza Brillouinových frekvencií pri 32 °C

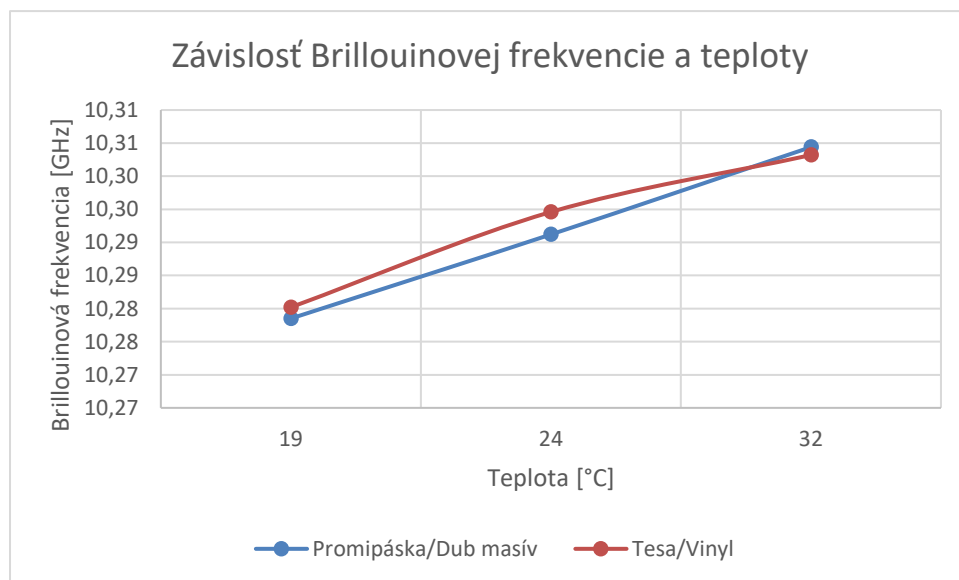
Materiál	Brillouinová frekvencia [GHz]				
	Fixačná páska				
	Tesa	Duct-Tape	Promipáska	VentureTape	Kobercová páska
Vinyl	10,3032	10,2759	10,2748	10,2867	10,2811
Dub masív	10,2919	10,2948	10,3044	10,2941	10,2787
Laminát	10,2916	10,273	10,3038	10,2977	10,2878
Elektrostatik	10,2724	10,2829	10,3059	10,2946	10,2962
Marmoleum	10,2957	10,2642	10,2743	10,2739	10,2823
Sadrokartón	10,2971	10,2884	10,2935	10,2863	10,2791
E(X)	10,2920	10,2799	10,2928	10,2889	10,2842

Tabuľka 2.14: Tabuľka nameraných hodnôt pri 32 °C

Pri meraní za zvýšenej teploty 32 °C môžeme v tabuľke č. 2.14 vidieť, že najvyššie hodnoty Brillouinovej frekvencie na jednotlivých materiáloch dosahovala Tesa a Promipáska. Konkrétne Tesa najlepšie fixovala na vinyle, marmoleu a sadrokartóne a Promipáska na dube masíve, lamináte a elektrostatiku. Pokiaľ sa pozrieme na výsledky stredných hodnôt E(X), tak tieto dve pásy mali aj najvyššie stredné hodnoty na všetkých materiáloch.

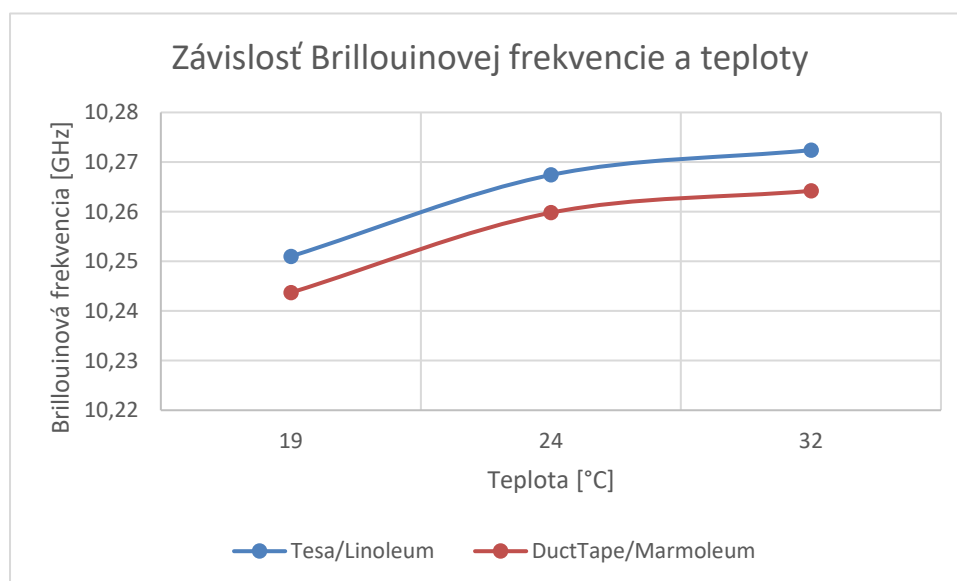


Graf 2.22: Teplotné porovnanie



Graf 2.23: Najlepšie dvojice

V grafe č. 2.23 môžeme vidieť závislosť Brillouinovej frekvencie a teploty. V grafe sú vykreslené závislosti dvoch pásov, pri ktorých boli namerané najvyššie Brillouinové frekvencie pre vlákno č. 2. Lineárny trend rastúcej Brillouinovej frekvencie pri rastúcej teplote sa potvrdil aj pri tomto type vlákna.



Graf 2.24: Najhoršie dvojice

V grafe 2.24 môžeme vidieť vývoj sledovaných hodnôt pre dve najmenej vhodné dvojice fixačnej pásky a podlahového materiálu pre vlákno č.2. Logaritmický trend rastúcej Brillouinovej frekvencie pri rastúcej teplote sa potvrdil aj pri tomto type vlákna.

2.3.4 Zhodnotenie

V grafe číslo 2.22 môžeme vidieť porovnanie nameraných Brillouinových frekvencií pri všetkých testovaných teplotách. Najbližšie k osi sa nachádza bielou farbou vyznačené meranie pri teplote 19 °C, nad ním je zelenou farbou označené meranie za teploty 24 °C a červenou farbou je vykreslené meranie pri 32 °C. Ako aj vlákno č. 1 tak aj toto testované vlákno splnilo predpoklad zmien Brillouinových frekvencií pri zmenách teploty. Z grafu môžeme vidieť, že najvyššie hodnoty frekvencií dosahovalo vlákno pri najvyššej teplote a najnižšie hodnoty zasa pri najnižšej teplote. Pokiaľ porovnáme výsledky Brillouinových frekvencií vlákna č. 1 s vláknom č. 2, môžeme vidieť, že hodnoty frekvencií pri vlákne č. 2 sú omnoho nižšie. Pokiaľ porovnáme najvyššiu nameranú frekvenciu pri 19 °C vlákna číslo 1 (Promipáska, dub masív) 10,3240 GHz s najvyššou frekvenciou pri 19 °C vlákna číslo 2 (Promipáska, laminát) 10,2861 GHz, môžeme vidieť rozdiel v nameraných frekvenciách pri rozdielnych vláknach o 37,9 MHz. Tento rozdiel medzi jednotlivými vláknami bol z dôvodu veľkosti plochy vlákien na ktoré pásky pôsobia. Pri vlákne č.1, ktoré obsahuje primárnu aj sekundárnu ochranu, je väčšia plocha na ktorú fixačné pásky pôsobia, tým pádom sa Brillouinové frekvencie pohybujú v rásne vyšších hodnotách. Vlákno č. 2 obsahovalo len primárnu ochranu, takže fixačné pásky pôsobili na menšiu plochu vlákna. Z týchto výsledkov je jasné, že kvalitnejšie a lepšie výsledky sa dajú dosiahnuť pri meraní s vláknom číslo 1. Vlákno č. 2 bolo zasa omnoho citlivejšie na zmeny napätia pri fixovaní páskami. Tento jav môžeme postrehnúť na veľkej nestabilite frekvencií medzi jednotlivými extrémami. Taktiež môžeme vidieť, že meranie za pokojovej teploty, ktoré je vykreslené zelenou farbou je v grafe č. 2.22 mierne zhruba o 1mm posunuté do pravej strany, za tento nežiaduci jav mohol o pár cm dlhší prepojovací kábel, ktorý viedol od predradného vlákna do DSTS.

Páska Tesa je v grafe č. 2.22 ohraničená žltým štvorcom. Táto páska dosahovala najvyššie hodnoty Brillouinových frekvencií na vinele, sadrokartóne a marmoleu pri všetkých troch teplotách. To

znamená, že nikdy sa nenašla páska pri práve testovanom materiáli, ktorá by dosiahla vyšších frekvencií a tým pádom lepšie fixovala. Táto páska je však nevodná na fixovanie na linoleum. V grafe môžeme vidieť u tohto materiálu prudký prepád nameraných frekvencií pri každej jednej teplote. Pri materiáli číslo 5 (marmoleum) je možné vidieť nárast frekvencií pri zvýšenej teplote 32 °C. Z toho je možné usúdiť že páska v spojení s vyššími pracovnými teplotami na tomto type podlahy fixuje lepšie. Taktiež aj pri poslednom materiáli sadrokartóne je možné vidieť nárast frekvencií pri teplotách 24 °C a 32 °C, kde oproti 19 °C fixuje omnoho lepšie. Táto fixačná páska dosahovala celkovo najlepších výsledkov pri meraniach s vláknom č. 2. Z tabuľky č. 2.11 je možné vidieť, že pokiaľ bola táto páska použitá na fixovanie vlákna č. 1, tak nedosiahla pri žiadnom materiáli z ohľadom na všetky pracovné teploty najvyššie hodnoty Brillouinových frekvencií v porovnaní s ostatnými páskami. Z tohto faktu vyplýva, že nie len fixačná páska, druh materiálu a teplota má vplyv na Brillouinové frekvencie ale aj typ použitého optického vlákna.

Páska Duct-Tape je v grafe č. 2.22 ohraničená červeným štvorcom. Táto páska nie je vhodná na fixovanie optických vlákien. Ani v jednom testovanom prípade páska nedosiahla vyšších frekvencií ako ostatné fixačné pásky. Z grafu je možné taktiež vyčítať, že najhoršie fixovala na materiáli č. 5 (marmoleum), kde so znižujúcou sa teplotou klesali aj Brillouinové frekvencie. Tento jav bol spozorovaný na danom materiáli aj pri zafixovaní vlákna č.1.

Promipáska, ktorá je v grafe č. 2.22 ohraničená zeleným štvorcom, dosahovala pri meraniach veľmi dobré výsledky. Môžeme vidieť, že na materiáli 2, 3, 4, 6 dosahovala veľmi vysoké hodnoty Brillouinových frekvencií, kde je vhodné ju využiť pri akýkoľvek teplotách. V spojení s materiálom č.1 táto páska nefixovala dobre a pri fixovaní na materiál 5 je možné vidieť opäť prepád nameraných frekvencií pri teplote 19 °C.

VentureTape je v grafe č. 2.22 ohraničená modrým štvorcom. Táto páska najlepšie fixovala na dube masíve a lamináte. Síce svoje extrémny pri dube masíve dosiahla len pri 19 °C a 24 °C a pri lamináte iba pri 24 °C, tak pri zostávajúcich teplotách sa jej Brillouinové frekvencie blížili k možným maximám. Taktiež aj na linoleum a sadrokartóne dosahuje vysoké hodnoty frekvencií, ale pri týchto materiáloch sa našli pri všetkých teplotách iné vhodnejšie fixačné pásky. Pri vinyle a marmoleum sú hodnoty frekvencií nízke a fixácia na týchto materiáloch sa neodporúča.

Posledná testovaná Eurotape kobercová páska je v grafe č. 2.22 ohraničená fialovým štvorcom. Pokiaľ sa pozrieme do tabuľky vyhodnotenia 2.15 najvhodnejších fixačných pásek, môžeme vidieť, že svoje maximum dosiahla len na linoleum pri pokojovej teplote. Každopádne pri fixácii na linoleum je vhodnejšie aj pri pokojovej teplote použiť VentureTape pásku, ktorá má stabilnejšie výsledky v ostatných pracovných teplotách. Fixácia na ostatných povrchoch nebola vhodná. Pri tejto páske na materiáli marmoleum môžeme opäť vidieť prepád nameraných Brillouinových frekvencií pri nižšej ako pracovnej teplote.

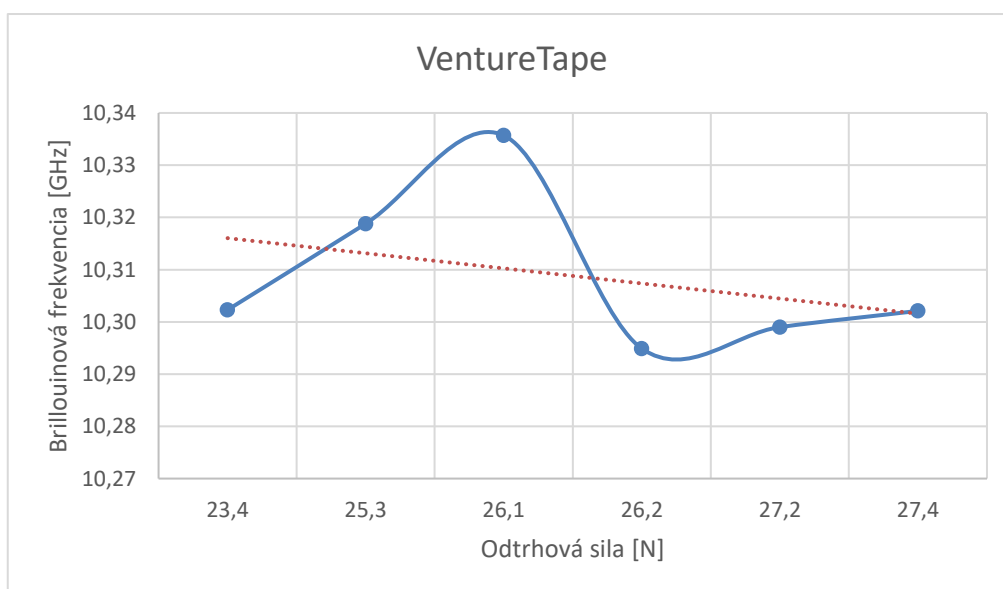
Materiál	Fixačná páska														
	Tessa			Duct-Tape			Promipáska			VentureTape			Kobercová páska		
	19°C	24 °C	32 °C	19°C	24 °C	32 °C	19°C	24 °C	32 °C	19°C	24 °C	32 °C	19°C	24 °C	32 °C
Vinyl															
Dub masív															
Laminát															
Elektrostatik															
Marmoleum															
Sadrokartón															

Tabuľka 2.15: Vyhodnotenie

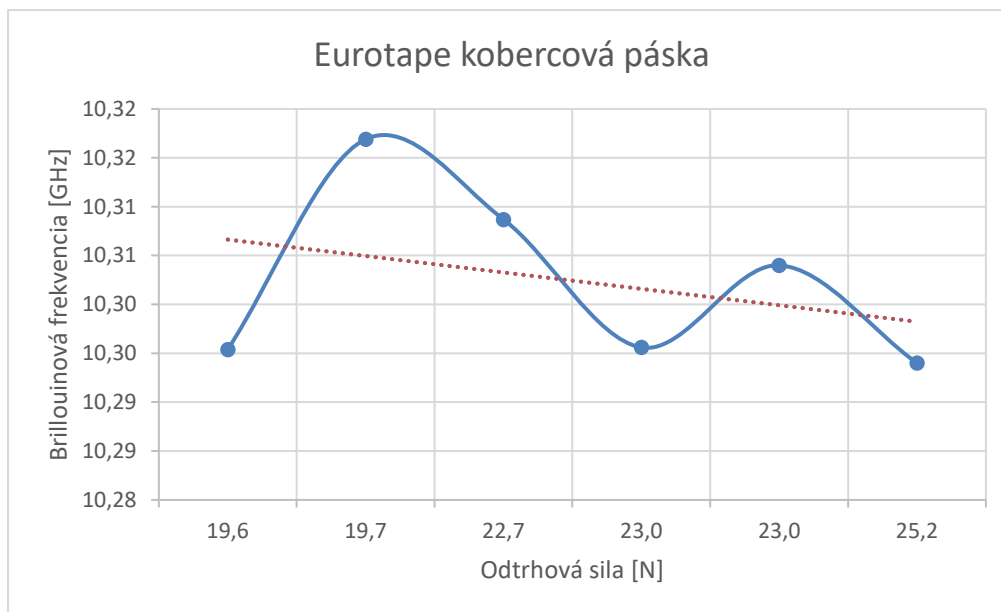
2.4 Porovnanie odtrhovej sily a Brillouinovej frekvencie pri teplote 24 °C

Experimentálna časť diplomovej práce sa zakladala na zistení možného súvisu odtrhovej sily a Brillouinovej frekvencie. Predpoklad tohto súvisu bolo nájdenie spojitosti, či s rastúcou odtrhovou silou určitým spôsobom rastie aj Brillouinová frekvencia. Pre lepšie pochopenie by to znamenalo, že ak fixačná páska dostatočne dobre drží na mechanické namáhanie pri meraní odtrhovej sily, potom je možné očakávať pri meraní s DSTS vysoké Brillouinové frekvencie. Tento možný súvis by znamenal uľahčenie výberu vhodnej fixačnej pásky pre optické vlákna. Experiment bol prevedený pri meraní odtrhovej sily fixačných pásek v teplote 24 °C s meraním Brillouinovej frekvencie fixačných pásek v teplote 24 °C. Tento experiment bol realizovaný pre obe testované optické vlákna.

2.4.1 Vláknó č.1



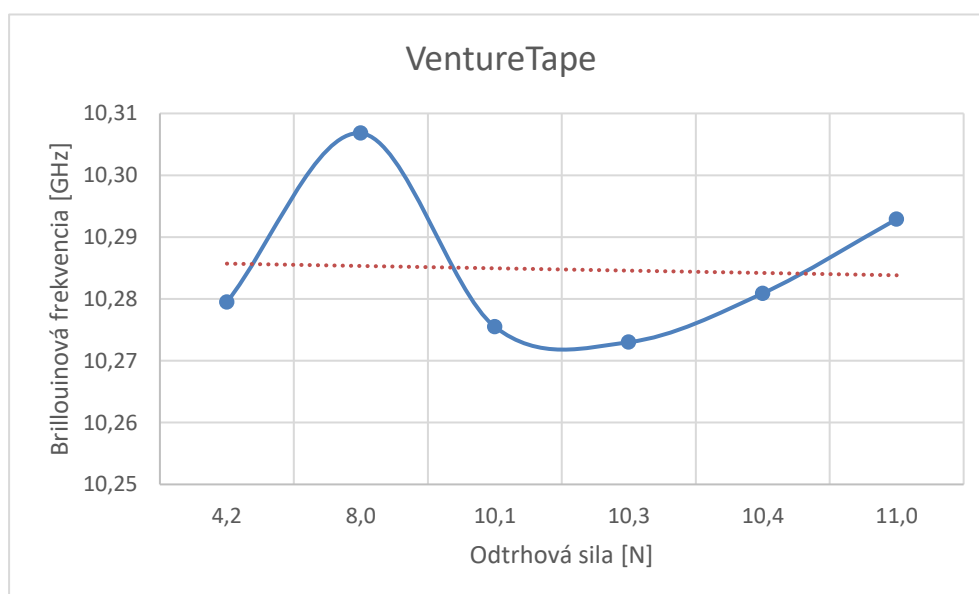
Graf 2.25: Závislosť Brillouinovej frekvencie a odtrhovej sily



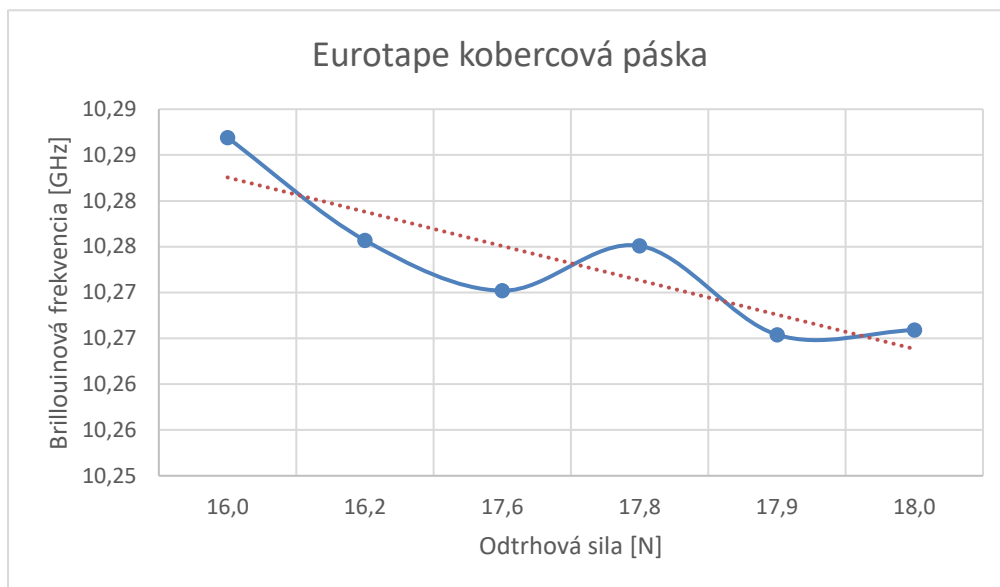
Graf 2.26: Závislosť Brillouinovej frekvencie a odtrhovej sily

Na obrázkoch 2.25 a 2.26 môžeme vidieť závislosť odtrhovej sily a Brillouinovej frekvencie pre vlákno č.1. Táto závislosť bola testovaná na každej fixačnej páske. Spojnica trendu je v grafoch označená červenou farbou. Každý bod v grafe reprezentuje dvojicu nameranej odtrhovej sily a Brillouinovej frekvencie na rovnakom materiáli. Pri oboch grafoch si môžeme všimnúť, že trend týchto hodnôt lineárne klesá, to znamená, že pri stúpajúcej odtrhovej sile nám klesá Brillouinová frekvencia. Tento lineárne klesajúci trend nebol pri všetkých testovaných fixačných páskach. Ostatné typy pásek vykazovali buď stagnujúci trend, alebo mierne rastúci trend. Toto zistenie nám vyvracia náš predpoklad, že pri meraní v pokojovej teplote s rastúcou odtrhovou silou rastie aj Brillouinová frekvencia. Kompletne grafy závislostí pre ostatné fixačné pásky sú uvedené v prílohách G, H tejto diplomovej práce.

2.4.2 Vlákno č.2



Graf 2.27: Závislosť Brillouinovej frekvencie a odtrhovej sily



Graf 2.28: Závislosť Brillouinovej frekvencie a odtrhovej sily

Vlákno č. 2 vykazuje rovnaké výsledky ako vlákno č. 1. Na určitých typoch páskach je trend lineárne rastúci inde zasa stagnujúci alebo klesajúci. Takže tak ako pri vlákne č.1 môžeme vyvrátiť predpoklad o rastúcej Brillouinovej frekvencii s rastúcou odtrhovou silou. Pokiaľ by sme chceli náš predpoklad označiť za dôveryhodný, rastúci trend by musela vykazovať každá testovaná fixačná páska.

Záver

Cieľom a podstatou tejto diplomovej práce bolo detailne pochopiť vzájomné vzťahy medzi fixovaním optických vlákien na podlahové materiály za rozličných pracovných teplôt. Dôkladná znalosť týchto základných súvislostí je potrebná pre ďalší výskum a vývoj meraní s optickými distribuovanými systémami. Pre detailnejšie pochopenie problematiky boli realizované merania odtrhovej sily pomocou silomeru a následne merania Brillouinových frekvencií pomocou DSTS. Merania boli realizované pre 2 rôzne optické vlákna, ktoré boli uchytené pomocou piatich rozličných fixačných pásek na šiestich druhoch podlahových materiálov, ktoré sú popísané v kapitole 1.3. Experimentálna časť diplomovej práce sa zaoberala súvislosťou odtrhovej sily s Brillouinovou frekvenciou pri teplote 24 °C.

Pri meraní odtrhovej sily vlákna č.1 sa zistilo, že pre jeho fixáciu na každom materiáli je najvhodnejšie použiť Promipásku a pásku VentureTape. Tieto fixačné pásky dosahovali najvyššie odtrhové sily a to aj v procese starnutia. Taktiež ich odtrhové sily s časom od nalepenia stúpali a to znamená, že s pribúdajúcou dobou od nalepenia na materiál mal tendenciu tmel pásky vytvrdnúť a tým pádom lepšie fixovať. Ostatné testované pásky pri meraní v momente od nalepenia dosahovali nižšie odtrhové sily, ktorých táto hodnota s časom klesala, čiže neboli označené ako vhodné na dlhodobú fixáciu pre podlahové materiály.

Pri meraní odtrhovej sily vlákna č. 2 sa ukázala ako najvhodnejšia na fixáciu Promipáska. Ako jediná dosahovala v procese starnutia odtrhové sily väčšie ako 20 N. Pri meraní odtrhových síl s použitím tohoto vlákna je vidieť, že namerané hodnoty sú omnoho nižšie ako pri vlákne č. 1. Tento fakt bol spôsobený tým, že vlákno č.1 oproti č.2 obsahovalo okrem primárnej aj sekundárnu ochranu a tým pádom malo väčší priemer. Z toho vyplýva, že fixačná páska použitá na vlákno č. 1 obopne väčšiu plochu optického vlákna a odtrhové sily budú vyššie. Maximálna hodnota odtrhovej sily pri vlákne č. 2 bola nameraná po 168 hodinách od nalepenia na lamináte s použitím Promipásky. Namerané bolo 30 N. S porovnaním pri vlákne č.1, ktorej maximum 38,2 N bolo namerané na linoleum s použitím pásky VentureTape taktiež po 168 hodinách od nalepenia. Z výsledkov je možné usúdiť, že podlahový materiál nemá skoro žiadny vplyv na namerané hodnoty odtrhových síl. Rozdiely v týchto hodnotách sú vidieť len pri zmene fixačnej pásky a zmene optického vlákna.

Pri meraní Brillouinových frekvencií vlákna č.1 sa ukázali najvhodnejšie pri fixovaní pásky VentureTape, Promipáska a Eurotape kobercová páska. Všetky testované pásky boli premerané na každom podlahovom materiáli pri 19 °C, 24 °C a 32 °C. Kompletne výsledky ako pásky fixovali na jednotlivých materiáloch je možné vyčítať z grafu č. 2.16 a v zhodnutí 2.3.2. Pri meraní Brillouinových frekvencií má značný vplyv na namerané hodnoty okrem použitého optického vlákna a fixačnej pásky aj použitý podlahový materiál. Taktiež aj so stúpajúcou pracovnou teplotou je trend Brillouinových frekvencií rastúci.

Pri meraní Brillouinových frekvencií vlákna č.2 sa ukázali ako najvhodnejšie pásky Tesa, Promipáska a VentureTape. V tabuľke č. 2.15 je možné vidieť, že nie vždy fixačná páska, ktorá fixuje najlepšie na danom materiáli pri 19 °C, tak taktiež je ju najvhodnejšie použiť aj pri iných pracovných teplotách. Dôkazom tohoto javu je Promipáska, ktorá dosahovala na lamináte a linoleum najlepšie hodnoty Brillouinových frekvencií pri teplote 19 °C a 32 °C. Pri pokojovej teplote na týchto materiáloch lepšie fixovali VentureTape a Eurotape kobercová páska. Kompletne výsledky sú možné vidieť v tabuľke č. 2.15 a zhodnutí 2.3.4. Rozdiel v Brillouinových frekvenciách vlákna č.1 a č.2 bol 37,9 MHz. Za tento rozdiel môže ako aj pri odtrhovej sile priemer optického vlákna, ktorý fixačná páska

obopína. Taktiež ako aj pri vlákne č.1 so stúpajúcou pracovnou teplotou je trend Brillouinových frekvencií rastúci. Po zhodnotení nameraných výsledkov pre vlákno č. 1 a vlákno č. 2 je z môjho pohľadu vhodnejšie na senzorické monitorovanie vlákno č.1. Meranie realizované pomocou neho bolo presnejšie a výsledky boli stabilnejšie.

Pri porovnaní odtrhovej sily s Brillouinovou frekvenciou sa nezistil žiadny súvis, tým pádom bol vyvrátený predpoklad, že s rastúcou odtrhovou silou pri použitej fixačnej páske rastie aj Brillouinová frekvencia. Táto spojitosť sa nedokázala ani pri jednom meraní optického vlákna. Trend spojitostí grafov týchto veličín bol pri každej testovanej fixačnej páske odlišný. Grafy týchto závislostí je možné vidieť v kapitole 2.4.

Ako návrh na nadväznosť tejto diplomovej práce by som odporučil otestovať fixačné pásy na daných podlahových materiáloch pri extrémnych rozdieloch teplôt, respektíve správanie sa fixačných pások blízko ich samotných teplotných odolností, ktoré nebolo možné otestovať kvôli rozsiahlosti meracej zostavy. Taktiež by bolo vhodné otestovať fixovanie optických vlákien pomocou pások na iných typoch materiálov, napríklad rôzne druhy kovu a plastov, na ktorých sa v budúcnosti bude riešiť monitorovanie senzorickými vláknami. Nakoniec by sa mohli ešte zmeniť podmienky pri meraní, ktoré by tieto výsledky mohli ovplyvňovať. Dôležité je si uvedomiť, že laboratórne podmienky pri ktorých boli merania realizované sú ideálne, avšak pri reálnej realizácii môžu na fixované povrchy pôsobiť rôzne vonkajšie vplyvy, ktoré môžu výsledky ovplyvňovať, ako sú napríklad otrasy.

Zoznam použitej literatúry

TYNDALL, J., 1873. *Six lectures on Light Delivered In The United States In 1872-1873*. 2. vyd. Londýn: Longsman, Green & Co. ISBN 3842499396.

MAXWELL, J. C., 1864. *A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field*. Londýn: Royal Society Transactions, Vol. CLV.

VÁRALLYAY, Z., Varga, G., Jakab, L., Richter, P. 2003. Broadband Raman amplifiers in modern telecommunication systems. *Híradástechnika*, 58: 36-41.

DADO, M., Turek, I., Štelina, J., Bitterer, L., Turek, S., Grolmus, E. 1998. *Kapitoly z optiky pre technikov*. Žilina: Žilinská univerzita. ISBN 80-7100-390-5

MAŇÁK, R. Rayleighův a Mieův rozptyl I. *Parhelium* [online]. 3/2007. Dostupné z: ukazy.astro.cz/gal/Parhelium200703.pdf

SARFO, G. A. 2016. Distributed Fiber Optic Sensors – Brillouin Optical Time Domain Analysis [BOTDA] Sensor in Simple Language. *International Journal of Engineering Research*, 5(2): 131-136.

ZENI, L., Picarelli, L., Avolio, B., Coscetta, A., Papa, R., Zeni, G., Di Maio, C., Vassallo, R., Minardo, A. 2015. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 7(4): 458-462.

THÉVENAZ, L. 2010. Brillouin distributed time-domain sensing in optical fibers: state of the art and perspectives. *Frontiers of Optoelectronics in China*, 3(1): 13-21.

CUI, Q., Pamukcu, S., Pervizpour, M. 2015. Impact Wave Monitoring in Soil Using a Dynamic Fiber Sensor Based on Stimulated Brillouin Scattering. *Sensors*, 15(4): 8163-8172.

Internetové zdroje

The OZ Optics DSTS: The BOTDA and BOTDA/BOTDR Instruments - A Comparison. In: *Youtube* [online]. 29.10.2014.

Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=VDRdBbrmaKE&t=329s>. Kanál uživateľa OZ Optics Ltd.

FLANDERS, T., Creed, P. J. 2008. Transparency and Atmospheric Extinction. In: *SKY & TELESCOPE* [online]. 10.6.2008. Dostupné z: <http://www.skyandtelescope.com/astronomy-resources/transparency-and-atmospheric-extinction/>

The OZ Optics DSTS System: BOTDR Long Distance Demonstration. In: *Youtube* [online]. 30.11.2016. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=KkGHkba7HFA&t=939s>. Kanál uživateľa OZ Optics Ltd.

LANDOLSI, T., Zou, L., Sezerman, O. 2015. Utility Applications of Fiber-Optic Distributed Strain and Temperature Sensor. In: *OZ Optics Ltd.* [online] Dostupné z: www.ozoptics.com/ALLNEW_PDF/APN0017.pdf

OULUNDSSEN, G., Hennessey, D., Conroy, M. 2015. Fiber for Remote Sensing: Downhole sensing applications enhanced by specialty optical fibers. *LaserFocusWorld*, 51(1) [online]. Dostupné z: <http://www.laserfocusworld.com/articles/print/volume-51/issue-01/features/fiber-for-remote-sensing-downhole-sensing-applications-enhanced-by-specialty-optical-fibers.html>

www1: <http://www.cables-solutions.com/understanding-wavelengths-in-fiber-optics.html>

www2: <http://www.multicominc.com/training/technical-resources/single-mode-vs-multi-mode-fiber-optic-cable/>

www3: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/atmos/blusky.html>

www4: <http://www.infratechnologies.com/en/technologies/distributed-temperature-sensor.html>

www5: http://www.ntt.co.jp/news/news01e/0109/010920_1.html

Zoznam príloh

Príloha A	Odtrhové sily vlákna č.1 v okamihu	I
Príloha B	Odtrhové sily vlákna č.1 po 48 hod.	VI
Príloha C	Odtrhové sily vlákna č.1 po 168 hod.	XI
Príloha D	Odtrhové sily vlákna č.2 v okamihu	XVI
Príloha E	Odtrhové sily vlákna č.2 po 48 hod.	XXI
Príloha F	Odtrhové sily vlákna č.2 po 168 hod.	XXVI
Príloha G	Grafy závislostí Brillouinovej frekvencie a odtrhovej sily pre vlákno č. 1	XXXI
Príloha H	Grafy závislostí Brillouinovej frekvencie a odtrhovej sily pre vlákno č. 2	XXXIII

Príloha A: *Odtrhové sily vlákna č.1 v okamihu*

Tesa/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	19	15
2.	17	14
3.	19	13
4.	15	10
5.	15,5	13
E(X)	17,1	13
σ	1,9	1,9
D(X)	3,6	3,5

Tesa/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	18	11,6
2.	17,7	13
3.	17	12,8
4.	18	12
5.	18,2	12,5
E(X)	17,8	12,4
σ	0,5	0,6
D(X)	0,2	0,3

Tesa/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17	11,5
2.	19	13
3.	16	11,7
4.	17	12
5.	18	13
E(X)	17,4	12,2
σ	1,1	0,7
D(X)	1,3	0,5

Tesa/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	23,5	15,5
2.	21	16,3
3.	18	13,5
4.	19,5	14
5.	20	15
E(X)	20,4	14,9
σ	2,0	1,1
D(X)	4,2	1,3

Tesa/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	21	16
2.	22	15
3.	24	19
4.	22	16,5
5.	20	17
E(X)	21,8	16,7
σ	1,5	1,5
D(X)	2,2	2,2

Tesa/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	19	14
2.	20,7	17
3.	19,9	15
4.	19	14,5
5.	20	17,5
E(X)	19,7	15,6
σ	0,7	1,6
D(X)	0,5	2,4

Eurotape kobercová/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	21	13,5
2.	21	13
3.	20	14
4.	17	12,5
5.	19	13
E(X)	19,6	13,2
σ	1,7	0,6
D(X)	2,8	0,3

Eurotape kobercová/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	24,5	16,5
2.	21	14,3
3.	23	16
4.	22,5	15
5.	24	16
E(X)	23	15,6
σ	1,4	0,9
D(X)	1,9	0,8

Eurotape kobercová/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17	12,5
2.	20	13
3.	21	11,2
4.	21	13,3
5.	19	12
E(X)	19,6	12,4
σ	1,7	0,8
D(X)	2,8	0,7

Eurotape kobercová/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17	11
2.	25	15
3.	23,9	15,5
4.	24	13
5.	23,5	14
E(X)	22,7	13,7
σ	3,2	1,8
D(X)	10,4	3,2

Eurotape kobercová/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	24	13,5
2.	23,7	14
3.	22	13,7
4.	22,5	13
5.	23	14,2
E(X)	23	13,7
σ	0,8	0,5
D(X)	0,7	0,2

Eurotape kobercová/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	27	14,4
2.	27	14,7
3.	24	14
4.	25	13,8
5.	23	12,5
E(X)	25,2	13,9
σ	1,8	0,8
D(X)	3,2	0,7

Duct-Tape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14	6
2.	14	6
3.	15	6,5
4.	12,5	7,3
5.	13,6	6,5
E(X)	13,8	6,5
σ	0,9	0,5
D(X)	0,8	0,3

Duct-Tape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15,5	8
2.	18	9
3.	15,5	7
4.	16	8,5
5.	17	9
E(X)	16,4	8,3
σ	1,1	0,8
D(X)	1,2	0,7

Duct-Tape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15	6
2.	16	7,5
3.	17	7,2
4.	16,5	6,5
5.	15,9	7
E(X)	16,1	6,8
σ	0,7	0,6
D(X)	0,6	0,4

Duct-Tape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15	7
2.	13,9	8,4
3.	11	7
4.	12	6,9
5.	14	8,2
E(X)	13,2	7,5
σ	1,6	0,7
D(X)	2,7	0,5

Duct-Tape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14	11,2
2.	16,3	5,7
3.	13,5	7
4.	13	7,2
5.	15	8
E(X)	14,4	7,8
σ	1,3	2,1
D(X)	1,7	4,3

Duct-Tape/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	13	5,8
2.	13,3	5,9
3.	14	9
4.	12,5	6
5.	13,3	6,5
E(X)	13,2	6,6
σ	0,5	1,3
D(X)	0,3	1,8

Promi Universal/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	28	18
2.	24	15
3.	22	14
4.	30	17
5.	27	16
E(X)	26,2	16
σ	3,2	1,6
D(X)	10,2	2,5

Promi Universal/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	27	17,2
2.	26	18
3.	28	18,9
4.	27	17
5.	26,9	18,2
E(X)	27	17,9
σ	0,7	0,8
D(X)	0,5	0,6

Promi Universal/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	28	18
2.	32	19
3.	24	15
4.	27	16,7
5.	25	17,2
E(X)	27,2	17,2
σ	3,1	1,5
D(X)	9,7	2,2

Promi Universal/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	27	15,5
2.	31,5	18
3.	30	16,8
4.	28,5	17
5.	29	17,2
E(X)	29,2	16,9
σ	1,7	0,9
D(X)	2,8	0,8

Promi Universal/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	26,3	20
2.	28	17
3.	35	19
4.	29	18,5
5.	28	19
E(X)	29,3	18,7
σ	3,4	1,1
D(X)	11,2	1,2

Promi Universal/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	28	19
2.	29	17
3.	31	20,7
4.	30	20
5.	29,5	17,9
E(X)	29,5	18,9
σ	1,1	1,5
D(X)	1,3	2,3

VentureTape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	22	9
2.	24	9
3.	25	9
4.	24	9
5.	22	10
E(X)	23,4	9,2
σ	1,3	0,4
D(X)	1,8	0,2

VentureTape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	26	0
2.	27,9	0
3.	27,7	0
4.	26,5	0
5.	28	0
E(X)	27,2	0
σ	0,9	0,0
D(X)	0,8	0,0

VentureTape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	26	0
2.	30	0
3.	24	0
4.	25	0
5.	26	0
E(X)	26,2	0
σ	2,3	0,0
D(X)	5,2	0,0

VentureTape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	28	0
2.	28,7	0
3.	25	0
4.	27	0
5.	29	0
E(X)	27,4	0
σ	1,6	0,0
D(X)	2,6	0,0

VentureTape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	25	0
2.	26	0
3.	24,5	0
4.	25	0
5.	25,9	0
E(X)	25,3	0
σ	0,6	0,0
D(X)	0,4	0,0

VentureTape/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	27	10
2.	25	9
3.	27,2	9,8
4.	26	10
5.	25,4	9,2
E(X)	26,1	9,6
σ	1,0	0,5
D(X)	0,9	0,2

Príloha B: *Odtŕhové sily vlákna č.1 po 48 hod.*

Tesa/Vinyl		
Meranie	Odtŕhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15	0
2.	16,2	0
3.	16,1	0
4.	14,5	0
5.	17	0
E(X)	15,8	0
σ	1,0	0,0
D(X)	1,0	0,0

Tesa/Sadrokartón		
Meranie	Odtŕhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	11,2	4
2.	15,1	3
3.	13,8	3
4.	15,9	4,9
5.	14	3,2
E(X)	14	3,6
σ	1,8	0,8
D(X)	3,2	0,7

Tesa/Dub masív		
Meranie	Odtŕhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15	0
2.	17	0
3.	14,7	0
4.	16	0
5.	16,2	0
E(X)	15,8	0
σ	0,9	0,0
D(X)	0,9	0,0

Tesa/Marmoleum		
Meranie	Odtŕhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	20,4	0
2.	16,6	6
3.	16,9	8
4.	17,1	0
5.	16,2	7,3
E(X)	17,4	4,3
σ	1,7	4,0
D(X)	2,9	15,6

Tesa/Laminát		
Meranie	Odtŕhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	19,7	0
2.	17,6	12,6
3.	14	12
4.	16,3	12
5.	18	0
E(X)	17,1	7,3
σ	2,1	6,7
D(X)	4,5	44,7

Tesa/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtŕhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	12,4	3
2.	14,7	6
3.	16,9	4
4.	13,5	5
5.	15	4
E(X)	14,5	4,4
σ	1,7	1,1
D(X)	2,9	1,3

Eurotape kobercová/Vinyl		
Meranie	Odtŕhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	8	0
2.	10,1	0
3.	9,3	0
4.	8,5	0
5.	9	0
E(X)	9	0
σ	0,8	0,0
D(X)	0,6	0,0

Eurotape kobercová/Sadrokartón		
Meranie	Odtŕhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	18	0
2.	16,9	0
3.	20	15,3
4.	17,5	0
5.	18,1	14
E(X)	18,1	5,9
σ	1,2	8,0
D(X)	1,4	64,6

Eurotape kobercová/Dub masív		
Meranie	Odtŕhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15,1	0
2.	13,6	0
3.	13,9	0
4.	14,4	0
5.	14	0
E(X)	14,2	0
σ	0,6	0,0
D(X)	0,3	0,0

Eurotape kobercová/Marmoleum		
Meranie	Odtŕhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,6	0
2.	17	14
3.	10,1	0
4.	12	0
5.	16	13
E(X)	13,1	5,4
σ	3,2	7,4
D(X)	10,0	54,8

Eurotape kobercová/Laminát		
Meranie	Odtŕhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	20	18
2.	20,1	16,8
3.	18	13
4.	21	19
5.	17	16
E(X)	19,2	16,6
σ	1,7	2,3
D(X)	2,7	5,3

Eurotape kobercová/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtŕhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	9,7	0
2.	7,9	0
3.	7,3	0
4.	8	0
5.	8,5	0
E(X)	8,3	0
σ	0,9	0,0
D(X)	0,8	0,0

Duct-Tape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	6,1	0
2.	4,2	0
3.	7,8	0
4.	5	0
5.	6,5	0
E(X)	5,9	0
σ	1,4	0,0
D(X)	1,9	0,0

Duct-Tape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	6,8	0
2.	4	0
3.	5,2	0
4.	5,6	0
5.	5	0
E(X)	5,3	0
σ	1,0	0,0
D(X)	1,0	0,0

Duct-Tape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	9,4	0
2.	6,5	0
3.	7,3	0
4.	9	0
5.	7,1	0
E(X)	7,9	0
σ	1,3	0,0
D(X)	1,6	0,0

Duct-Tape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	8	0
2.	6	0
3.	6,5	0
4.	8	0
5.	7	0
E(X)	7,1	0
σ	0,9	0,0
D(X)	0,8	0,0

Duct-Tape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	7	0
2.	6,7	0
3.	4,9	0
4.	5,5	0
5.	6,9	0
E(X)	6,2	0
σ	0,9	0,0
D(X)	0,9	0,0

Duct-Tape/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	5,7	0
2.	2	0
3.	4,2	0
4.	3,1	0
5.	5,1	0
E(X)	4	0
σ	1,5	0,0
D(X)	2,2	0,0

Promi Universal/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	24	5
2.	32	12
3.	29,5	14
4.	26	9
5.	24,5	8
E(X)	27,2	9,6
σ	3,4	3,5
D(X)	11,8	12,3

Promi Universal/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	30	17
2.	33,6	18,7
3.	38	16
4.	35	18,2
5.	37	17,8
E(X)	34,7	17,5
σ	3,1	1,1
D(X)	9,9	1,1

Promi Universal/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	24	0
2.	33	0
3.	41	0
4.	38,2	0
5.	40	0
E(X)	35,2	0
σ	7,0	0,0
D(X)	49,0	0,0

Promi Universal/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	46,7	0
2.	29	0
3.	31	0
4.	35	0
5.	39	0
E(X)	36,1	0
σ	7,0	0,0
D(X)	49,6	0,0

Promi Universal/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	27	17,8
2.	32	15,6
3.	27	15,9
4.	33	18
5.	28	14
E(X)	29,4	16,3
σ	2,9	1,7
D(X)	8,3	2,8

Promi Universal/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	30	23
2.	33,9	16
3.	27,6	15
4.	31	22
5.	29	17,4
E(X)	30,3	18,7
σ	2,4	3,6
D(X)	5,6	13,0

VentureTape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	32	0
2.	31,6	0
3.	25	0
4.	28,2	0
5.	30	0
E(X)	29,4	0
σ	2,9	0,0
D(X)	8,2	0,0

VentureTape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	32,9	0
2.	30,6	0
3.	32,4	0
4.	31	0
5.	33,5	0
E(X)	32,1	0
σ	1,2	0,0
D(X)	1,5	0,0

VentureTape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	19	0
2.	30,5	0
3.	27,6	0
4.	25,1	0
5.	32	0
E(X)	26,8	0
σ	5,1	0,0
D(X)	26,3	0,0

VentureTape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	28,5	0
2.	29	0
3.	24,7	0
4.	28,1	0
5.	27	0
E(X)	27,5	0
σ	1,7	0,0
D(X)	2,9	0,0

VentureTape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	26,9	0
2.	28,8	0
3.	25,2	0
4.	27,1	0
5.	28	0
E(X)	27,2	0
σ	1,4	0,0
D(X)	1,8	0,0

VentureTape/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	25	0
2.	29,1	0
3.	32,2	0
4.	30	0
5.	25	0
E(X)	28,3	0
σ	3,2	0,0
D(X)	10,1	0,0

Príloha C: *Odtrhové sily vlákna č.1 po 168 hod.*

Tesa/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	19,7	0
2.	16,06	0
3.	21,4	0
4.	18,5	0
5.	19	0
E(X)	18,9	0
σ	1,9	0,0
D(X)	3,8	0,0

Tesa/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	18	0
2.	20	0
3.	15,7	0
4.	18,7	0
5.	17,9	0
E(X)	18,1	0
σ	1,6	0,0
D(X)	2,4	0,0

Tesa/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	19,2	0
2.	19,2	0
3.	19,5	0
4.	21	0
5.	20,2	0
E(X)	19,8	0
σ	0,8	0,0
D(X)	0,6	0,0

Tesa/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	23,1	0
2.	23,9	0
3.	23,8	0
4.	24	0
5.	25,1	0
E(X)	24	0
σ	0,7	0,0
D(X)	0,5	0,0

Tesa/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	28	0
2.	18	0
3.	23,5	0
4.	25	0
5.	21,2	0
E(X)	23,1	0
σ	3,8	0,0
D(X)	14,3	0,0

Tesa/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	20,9	0
2.	21,2	0
3.	18,3	0
4.	19,9	0
5.	20	0
E(X)	20,1	0
σ	1,1	0,0
D(X)	1,3	0,0

Eurotape kobercová/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	11	0
2.	17	0
3.	12,8	0
4.	13,1	0
5.	14	0
E(X)	13,6	0
σ	2,2	0,0
D(X)	4,8	0,0

Eurotape kobercová/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	18	0
2.	14	0
3.	18,4	0
4.	16,5	0
5.	17,8	0
E(X)	16,9	0
σ	1,8	0,0
D(X)	3,2	0,0

Eurotape kobercová/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	16,1	0
2.	17,1	0
3.	10,1	0
4.	13	0
5.	14	0
E(X)	14,1	0
σ	2,7	0,0
D(X)	7,6	0,0

Eurotape kobercová/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	16	0
2.	15,2	0
3.	18,7	0
4.	17,1	0
5.	16,5	0
E(X)	16,7	0
σ	1,3	0,0
D(X)	1,7	0,0

Eurotape kobercová/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	13	0
2.	13,1	0
3.	17,2	0
4.	14,7	0
5.	15	0
E(X)	14,6	0
σ	1,7	0,0
D(X)	2,9	0,0

Eurotape kobercová/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	16	0
2.	14,4	0
3.	12,9	0
4.	13,7	0
5.	14	0
E(X)	14,2	0
σ	1,1	0,0
D(X)	1,3	0,0

Duct-Tape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	6,7	0
2.	6	0
3.	7	0
4.	6,2	0
5.	5	0
E(X)	6,2	0
σ	0,8	0,0
D(X)	0,6	0,0

Duct-Tape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	6	0
2.	9	0
3.	7,2	0
4.	5,12	0
5.	6,1	0
E(X)	6,7	0
σ	1,5	0,0
D(X)	2,2	0,0

Duct-Tape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	9,2	0
2.	8	0
3.	7,9	0
4.	8,5	0
5.	8	0
E(X)	8,3	0
σ	0,5	0,0
D(X)	0,3	0,0

Duct-Tape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	7,8	0
2.	7,8	0
3.	6,1	0
4.	8	0
5.	7,1	0
E(X)	7,4	0
σ	0,8	0,0
D(X)	0,6	0,0

Duct-Tape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,1	0
2.	8,3	0
3.	9,1	0
4.	6,7	0
5.	7	0
E(X)	8,2	0
σ	1,4	0,0
D(X)	2,0	0,0

Duct-Tape/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	7,3	0
2.	6,5	0
3.	6,2	0
4.	5	0
5.	5,1	0
E(X)	6	0
σ	1,0	0,0
D(X)	0,9	0,0

Promi Universal/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	31,7	0
2.	23,9	0
3.	39	0
4.	28	0
5.	30	0
E(X)	30,5	0
σ	5,6	0,0
D(X)	30,9	0,0

Promi Universal/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	36	0
2.	30,1	0
3.	38,2	0
4.	35	0
5.	36	0
E(X)	35,1	0
σ	3,0	0,0
D(X)	9,1	0,0

Promi Universal/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	26,4	0
2.	34,8	0
3.	30,9	0
4.	32,1	0
5.	33	0
E(X)	31,4	0
σ	3,2	0,0
D(X)	10,0	0,0

Promi Universal/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	40,1	0
2.	30	0
3.	35,2	0
4.	27,1	0
5.	32	0
E(X)	32,9	0
σ	5,0	0,0
D(X)	25,0	0,0

Promi Universal/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	40	0
2.	34,5	0
3.	34,7	0
4.	35	0
5.	36,2	0
E(X)	36,1	0
σ	2,3	0,0
D(X)	5,2	0,0

Promi Universal/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	27,4	0
2.	34	0
3.	43	0
4.	38,1	0
5.	39	0
E(X)	36,3	0
σ	5,9	0,0
D(X)	35,0	0,0

VentureTape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	32	0
2.	37,7	0
3.	33,3	0
4.	35	0
5.	34	0
E(X)	34,4	0
σ	2,1	0,0
D(X)	4,6	0,0

VentureTape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	29	0
2.	33	0
3.	32	0
4.	31,6	0
5.	30	0
E(X)	31,1	0
σ	1,6	0,0
D(X)	2,6	0,0

VentureTape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	39,6	0
2.	38,4	0
3.	37,4	0
4.	36,1	0
5.	39	0
E(X)	38,1	0
σ	1,4	0,0
D(X)	1,9	0,0

VentureTape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	32,2	0
2.	31,2	0
3.	30,8	0
4.	31	0
5.	30	0
E(X)	31	0
σ	0,8	0,0
D(X)	0,6	0,0

VentureTape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	34	0
2.	35,4	0
3.	30,8	0
4.	30,1	0
5.	33	0
E(X)	32,7	0
σ	2,2	0,0
D(X)	4,9	0,0

VentureTape/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	39	0
2.	38,5	0
3.	36,2	0
4.	39,1	0
5.	38,2	0
E(X)	38,2	0
σ	1,2	0,0
D(X)	1,4	0,0

Príloha D: *Odtŕhové sily vlákna č.2 v okamihu*

Tesa/Vinyl		
Meranie	Odtŕhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17,1	11
2.	17,4	8
3.	15,4	9,2
4.	16	11
5.	17	12,5
E(X)	16,6	10,3
σ	0,8	1,8
D(X)	0,7	3,1

Tesa/Sadrokartón		
Meranie	Odtŕhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	16,2	9,5
2.	15,6	11,7
3.	16,3	9,8
4.	14,8	10
5.	15	11
E(X)	15,6	10,4
σ	0,7	0,9
D(X)	0,5	0,8

Tesa/Dub masív		
Meranie	Odtŕhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17	11,4
2.	14,2	8,9
3.	15,4	10,7
4.	16	8,3
5.	16,9	11
E(X)	15,9	10,1
σ	1,2	1,4
D(X)	1,3	1,9

Tesa/Marmoleum		
Meranie	Odtŕhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	13	8,4
2.	13,7	9
3.	16,1	9
4.	14,5	8,5
5.	13,2	9
E(X)	14,1	8,8
σ	1,3	0,3
D(X)	1,6	0,1

Tesa/Laminát		
Meranie	Odtŕhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	12,6	9,8
2.	20,1	12,8
3.	21,7	13
4.	17,7	12,3
5.	17	11
E(X)	17,8	11,8
σ	3,5	1,4
D(X)	12,0	1,8

Tesa/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtŕhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	16,7	8
2.	15,8	9
3.	15,4	9,6
4.	14,8	9,2
5.	16,5	10
E(X)	15,8	9,2
σ	0,8	0,8
D(X)	0,6	0,6

Eurotape kobercová/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15,2	7,1
2.	17,2	8,5
3.	16,1	8,2
4.	16	9
5.	16,5	7,5
E(X)	16,2	8,1
σ	0,7	0,8
D(X)	0,5	0,6

Eurotape kobercová/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	18,2	4,8
2.	17,5	9
3.	17,3	8,6
4.	16,9	9,9
5.	17,9	9
E(X)	17,6	8,3
σ	0,5	2,0
D(X)	0,3	4,0

Eurotape kobercová/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	20,7	9,8
2.	17	8,9
3.	16,7	9
4.	18,2	8,9
5.	17	10
E(X)	17,9	9,3
σ	1,7	0,5
D(X)	2,7	0,3

Eurotape kobercová/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	16,7	11,9
2.	18,2	11,9
3.	19,7	11
4.	17	10
5.	18,5	12,3
E(X)	18	11,4
σ	1,2	0,9
D(X)	1,5	0,9

Eurotape kobercová/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	18,1	12,5
2.	17,9	12
3.	18,6	10,9
4.	17,1	12,3
5.	17,2	11
E(X)	17,8	11,7
σ	0,6	0,7
D(X)	0,4	0,6

Eurotape kobercová/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17,3	0
2.	15,6	0
3.	14,4	0
4.	15,5	0
5.	17,1	0
E(X)	16	0
σ	1,2	0,0
D(X)	1,5	0,0

Duct-Tape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	8	3
2.	10,7	2,2
3.	9,2	3,1
4.	9	2
5.	8,8	3
E(X)	9,1	2,7
σ	1,0	0,5
D(X)	1,0	0,3

Duct-Tape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,8	0
2.	9,8	0
3.	10,8	0
4.	11	0
5.	10,1	0
E(X)	10,5	0
σ	0,5	0,0
D(X)	0,3	0,0

Duct-Tape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	9,2	3,9
2.	10	4,8
3.	8,5	5,2
4.	8	4,9
5.	9,9	5,8
E(X)	9,1	4,9
σ	0,9	0,7
D(X)	0,8	0,5

Duct-Tape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	7,4	7,4
2.	11	8
3.	11	9
4.	10	7,2
5.	10,5	8
E(X)	10	7,9
σ	1,5	0,7
D(X)	2,3	0,5

Duct-Tape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	12,6	10,8
2.	10	5,14
3.	13,5	8,6
4.	11,2	7
5.	10,5	6,9
E(X)	11,6	7,7
σ	1,5	2,1
D(X)	2,1	4,5

Duct-Tape/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,2	0
2.	16,4	0
3.	8,9	0
4.	10,2	0
5.	11,2	0
E(X)	11,4	0
σ	2,9	0,0
D(X)	8,5	0,0

Promi Universal/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17	11
2.	14	6
3.	15	7
4.	16,5	7
5.	14,2	6
E(X)	15,3	7,4
σ	1,4	2,1
D(X)	1,8	4,3

Promi Universal/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17,4	0
2.	17,5	0
3.	15,8	0
4.	16,1	0
5.	17,2	0
E(X)	16,8	0
σ	0,8	0,0
D(X)	0,6	0,0

Promi Universal/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17,9	10
2.	17,5	6,9
3.	14	9
4.	16,5	8
5.	17,1	9,8
E(X)	16,6	8,7
σ	1,5	1,3
D(X)	2,4	1,7

Promi Universal/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15,5	7
2.	18	10,5
3.	16,7	8
4.	17,2	11
5.	14,9	9
E(X)	16,5	9,1
σ	1,3	1,7
D(X)	1,6	2,8

Promi Universal/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	22	0
2.	23	0
3.	19,2	0
4.	20	0
5.	21	0
E(X)	21	0
σ	1,5	0,0
D(X)	2,3	0,0

Promi Universal/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	21,7	0
2.	14	0
3.	18	0
4.	16,5	0
5.	17,2	0
E(X)	17,5	0
σ	2,8	0,0
D(X)	7,8	0,0

VentureTape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,4	4
2.	11,2	3,8
3.	9,2	3,2
4.	10,8	3
5.	9,9	3,5
E(X)	10,3	3,5
σ	0,8	0,4
D(X)	0,6	0,2

VentureTape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	5	4
2.	3	3
3.	4	3
4.	5	4,2
5.	4	2
E(X)	4,2	3,2
σ	0,8	0,9
D(X)	0,7	0,8

VentureTape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	8,5	3
2.	8,3	3,5
3.	7,9	3,1
4.	8,1	3,9
5.	7,2	3
E(X)	8	3,3
σ	0,5	0,4
D(X)	0,3	0,2

VentureTape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	11	0
2.	8,9	0
3.	11,2	0
4.	9,5	0
5.	10	0
E(X)	10,1	0
σ	1,0	0,0
D(X)	1,0	0,0

VentureTape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	13,4	4
2.	10	5,3
3.	11,2	6
4.	10	4
5.	10,6	5,3
E(X)	11	4,9
σ	1,4	0,9
D(X)	2,0	0,8

VentureTape/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,2	0
2.	10,19	0
3.	10,3	0
4.	11	0
5.	10,1	0
E(X)	10,3	0
σ	0,4	0,0
D(X)	0,1	0,0

Príloha E: *Odtrhové sily vlákna č.2 po 48 hod.*

Tesa/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14,9	0
2.	12,5	0
3.	11,7	0
4.	13	0
5.	12,9	0
E(X)	13	0
σ	1,2	0,0
D(X)	1,4	0,0

Tesa/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,12	0
2.	10,5	0
3.	9,7	0
4.	10,5	0
5.	11	0
E(X)	10,4	0
σ	0,5	0,0
D(X)	0,2	0,0

Tesa/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	8,6	0
2.	9,1	0
3.	10,11	0
4.	9,5	0
5.	9	0
E(X)	9,3	0
σ	0,6	0,0
D(X)	0,3	0,0

Tesa/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14,2	0
2.	14,1	0
3.	15,5	0
4.	13,31	0
5.	13,4	0
E(X)	14,1	0
σ	0,9	0,0
D(X)	0,8	0,0

Tesa/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	13,7	0
2.	12,3	0
3.	15,3	0
4.	14	0
5.	14,1	0
E(X)	13,9	0
σ	1,1	0,0
D(X)	1,2	0,0

Tesa/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	12,3	0
2.	13,8	0
3.	14,19	0
4.	13,5	0
5.	12,9	0
E(X)	13,3	0
σ	0,7	0,0
D(X)	0,6	0,0

Eurotape kobercová/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	12,3	0
2.	16,15	0
3.	12,34	0
4.	10,5	0
5.	15,1	0
E(X)	13,3	0
σ	2,3	0,0
D(X)	5,3	0,0

Eurotape kobercová/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15,6	0
2.	14,4	0
3.	16,2	0
4.	15,1	0
5.	14,9	0
E(X)	15,2	0
σ	0,7	0,0
D(X)	0,5	0,0

Eurotape kobercová/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,89	0
2.	11,77	0
3.	12,04	0
4.	12,1	0
5.	11	0
E(X)	11,6	0
σ	0,6	0,0
D(X)	0,3	0,0

Eurotape kobercová/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	16,5	0
2.	16,3	0
3.	18,5	0
4.	17,1	0
5.	16,5	0
E(X)	17	0
σ	0,9	0,0
D(X)	0,8	0,0

Eurotape kobercová/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14,5	0
2.	11,9	0
3.	11,4	0
4.	12,5	0
5.	12	0
E(X)	12,5	0
σ	1,2	0,0
D(X)	1,5	0,0

Eurotape kobercová/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	13,9	0
2.	13,7	0
3.	13,2	0
4.	12,9	0
5.	14,1	0
E(X)	13,6	0
σ	0,5	0,0
D(X)	0,2	0,0

Duct-Tape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	3,6	0
2.	5,5	0
3.	4	0
4.	3,8	0
5.	4,2	0
E(X)	4,2	0
σ	0,7	0,0
D(X)	0,6	0,0

Duct-Tape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	7	0
2.	3,3	0
3.	4,1	0
4.	3,3	0
5.	5,1	0
E(X)	4,6	0
σ	1,6	0,0
D(X)	2,4	0,0

Duct-Tape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	1	0
2.	3	0
3.	4	0
4.	2	0
5.	3	0
E(X)	2,6	0
σ	1,1	0,0
D(X)	1,3	0,0

Duct-Tape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	5,2	0
2.	3,7	0
3.	3	0
4.	4,2	0
5.	3,9	0
E(X)	4	0
σ	0,8	0,0
D(X)	0,6	0,0

Duct-Tape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	5,5	0
2.	4	0
3.	5,1	0
4.	4,9	0
5.	6	0
E(X)	5,1	0
σ	0,7	0,0
D(X)	0,6	0,0

Duct-Tape/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	9,5	0
2.	3	0
3.	4,1	0
4.	5	0
5.	2,9	0
E(X)	4,9	0
σ	2,7	0,0
D(X)	7,4	0,0

Promi Universal/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17,9	0
2.	20,8	0
3.	21	0
4.	20,5	0
5.	19,2	0
E(X)	19,9	0
σ	1,3	0,0
D(X)	1,7	0,0

Promi Universal/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	27	0
2.	21,2	0
3.	pretrhnutie	0
4.	pretrhnutie	0
5.	pretrhnutie	0
E(X)	24,1	0
σ	4,1	0,0
D(X)	16,8	0,0

Promi Universal/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	20,6	0
2.	24,5	0
3.	pretrhnutie	0
4.	pretrhnutie	0
5.	pretrhnutie	0
E(X)	22,5	0
σ	2,7	0,0
D(X)	7,6	0,0

Promi Universal/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	24,2	0
2.	22,9	0
3.	24,3	0
4.	pretrhnutie	0
5.	pretrhnutie	0
E(X)	23,6	0
σ	0,8	0,0
D(X)	0,6	0,0

Promi Universal/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	pretrhnutie	0
2.	pretrhnutie	0
3.	23	0
4.	23,2	0
5.	20	0
E(X)	22,1	0
σ	1,8	0,0
D(X)	3,2	0,0

Promi Universal/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	22	0
2.	pretrhnutie	0
3.	pretrhnutie	0
4.	pretrhnutie	0
5.	pretrhnutie	0
E(X)	22	0
σ	0,0	0,0
D(X)	0,0	0,0

VentureTape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	6,7	0
2.	10,8	0
3.	11,5	0
4.	9,5	0
5.	11,3	0
E(X)	10	0
σ	2,0	0,0
D(X)	3,9	0,0

VentureTape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	13,6	0
2.	12,9	0
3.	12,3	0
4.	14,2	0
5.	13,1	0
E(X)	13,2	0
σ	0,7	0,0
D(X)	0,5	0,0

VentureTape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	8,3	0
2.	5,2	0
3.	9,7	0
4.	9,8	0
5.	8,9	0
E(X)	8,4	0
σ	1,9	0,0
D(X)	3,5	0,0

VentureTape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	11,2	0
2.	10,9	0
3.	12,1	0
4.	10,5	0
5.	12	0
E(X)	11,3	0
σ	0,7	0,0
D(X)	0,5	0,0

VentureTape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	13,4	0
2.	10,3	0
3.	12,97	0
4.	11,2	0
5.	10,2	0
E(X)	11,6	0
σ	1,5	0,0
D(X)	2,2	0,0

VentureTape/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,2	0
2.	14	0
3.	13,4	0
4.	12,1	0
5.	11	0
E(X)	12,1	0
σ	1,6	0,0
D(X)	2,5	0,0

Príloha F: *Odtrhové sily vlákna č.2 po 168 hod.*

Tesa/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	12,9	5
2.	14,14	9
3.	10,4	7,3
4.	12,1	7
5.	11	6,3
E(X)	12,1	6,9
σ	1,5	1,5
D(X)	2,2	2,1

Tesa/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14,1	6,8
2.	19,1	8,6
3.	15	8,2
4.	17,7	7,3
5.	18	7
E(X)	16,8	7,6
σ	2,1	0,8
D(X)	4,5	0,6

Tesa/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15,4	0
2.	12,2	0
3.	22	0
4.	17,1	0
5.	18,5	0
E(X)	17	0
σ	3,6	0,0
D(X)	13,2	0,0

Tesa/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	17,6	8,4
2.	14,3	7,1
3.	17,6	8,9
4.	16,5	7,2
5.	17	10,5
E(X)	16,6	8,4
σ	1,4	1,2
D(X)	1,9	1,9

Tesa/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	18,4	6
2.	12,9	7,1
3.	13,1	8
4.	14,2	9
5.	15,1	4
E(X)	14,7	6,8
σ	2,2	1,9
D(X)	5,0	3,7

Tesa/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14	6
2.	12,6	6,3
3.	15,6	5,8
4.	13,3	6,2
5.	14,1	5,9
E(X)	13,9	6
σ	1,1	0,2
D(X)	1,2	0,0

Eurotape kobercová/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14,3	6
2.	12,9	6
3.	13,8	5,5
4.	14	6,2
5.	13,5	5,9
E(X)	13,7	5,9
σ	0,5	0,3
D(X)	0,3	0,1

Eurotape kobercová/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	12,6	6
2.	19,7	7,4
3.	15,8	5,4
4.	16,1	6,2
5.	17,8	7,5
E(X)	16,4	6,5
σ	2,6	0,9
D(X)	6,9	0,8

Eurotape kobercová/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15,4	0
2.	10,9	0
3.	12,2	0
4.	12,1	0
5.	13	0
E(X)	12,7	0
σ	1,7	0,0
D(X)	2,8	0,0

Eurotape kobercová/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	16,9	5
2.	17	6
3.	15,8	5,8
4.	14,9	7,1
5.	15	7
E(X)	15,9	6,2
σ	1,0	0,8
D(X)	1,0	0,8

Eurotape kobercová/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	12,4	5
2.	15,4	6,4
3.	14,1	7,1
4.	13,9	5
5.	14,5	7,2
E(X)	14,1	6,1
σ	1,1	1,1
D(X)	1,2	1,2

Eurotape kobercová/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	13,7	0
2.	14,8	0
3.	11,2	0
4.	12	0
5.	13	0
E(X)	12,9	0
σ	1,4	0,0
D(X)	2,0	0,0

Duct-Tape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	2	0
2.	3	0
3.	2,8	0
4.	2,5	0
5.	2,1	0
E(X)	2,5	0
σ	0,4	0,0
D(X)	0,2	0,0

Duct-Tape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	7,7	0
2.	7,6	0
3.	7,9	0
4.	7,3	0
5.	6,8	0
E(X)	7,5	0
σ	0,4	0,0
D(X)	0,2	0,0

Duct-Tape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	4,4	0
2.	5,2	0
3.	4,9	0
4.	3,8	0
5.	4,7	0
E(X)	4,6	0
σ	0,5	0,0
D(X)	0,3	0,0

Duct-Tape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	5,6	0
2.	7,4	0
3.	6,4	0
4.	7,1	0
5.	5,1	0
E(X)	6,3	0
σ	1,0	0,0
D(X)	0,9	0,0

Duct-Tape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	5	0
2.	4,8	0
3.	4,9	0
4.	5,1	0
5.	4,2	0
E(X)	4,8	0
σ	0,4	0,0
D(X)	0,1	0,0

Duct-Tape/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	7,8	0
2.	5,6	0
3.	8,5	0
4.	7,2	0
5.	5,8	0
E(X)	7	0
σ	1,3	0,0
D(X)	1,6	0,0

Promi Universal/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	27	0
2.	27	0
3.	28	0
4.	26,5	0
5.	29	0
E(X)	27,5	0
σ	1,0	0,0
D(X)	1,0	0,0

Promi Universal/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	24	0
2.	26	0
3.	24	0
4.	28	0
5.	27	0
E(X)	25,8	0
σ	1,8	0,0
D(X)	3,2	0,0

Promi Universal/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	22	0
2.	26	0
3.	27	0
4.	25	0
5.	pretrhnuté	0
E(X)	25	0
σ	2,2	0,0
D(X)	4,7	0,0

Promi Universal/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	25,4	0
2.	36	0
3.	25	0
4.	29	0
5.	28	0
E(X)	28,7	0
σ	4,4	0,0
D(X)	19,6	0,0

Promi Universal/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	28,4	0
2.	36	0
3.	30	0
4.	29,7	0
5.	31	0
E(X)	31	0
σ	2,9	0,0
D(X)	8,6	0,0

Promi Universal/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	27	0
2.	24	0
3.	25	0
4.	24,2	0
5.	33,5	0
E(X)	26,7	0
σ	4,0	0,0
D(X)	15,7	0,0

VentureTape/Vinyl		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	11,9	0
2.	16	0
3.	15,4	0
4.	14,2	0
5.	13	0
E(X)	14,1	0
σ	1,7	0,0
D(X)	2,8	0,0

VentureTape/Sadrokartón		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14,5	0
2.	13,2	0
3.	15,4	0
4.	13,2	0
5.	14,5	0
E(X)	14,2	0
σ	1,0	0,0
D(X)	0,9	0,0

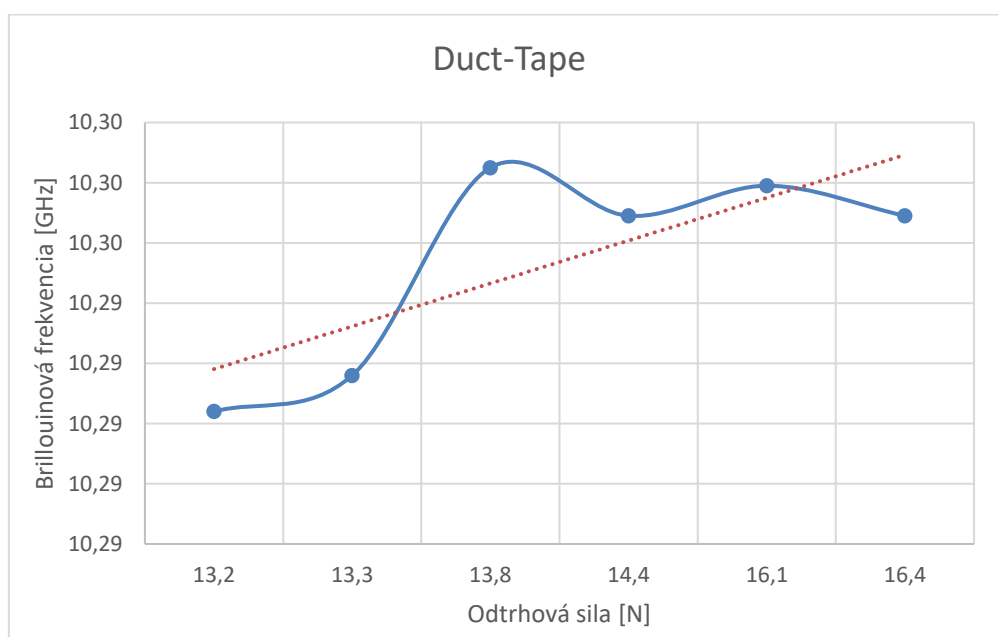
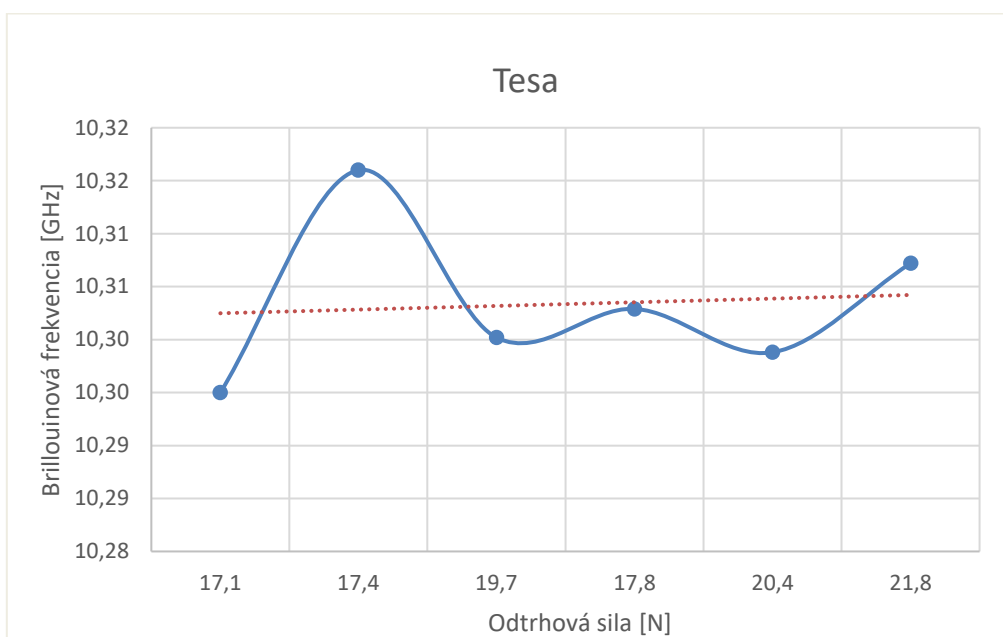
VentureTape/Dub masív		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	10,1	0
2.	13,7	0
3.	10,9	0
4.	11,3	0
5.	12	0
E(X)	11,6	0
σ	1,4	0,0
D(X)	1,8	0,0

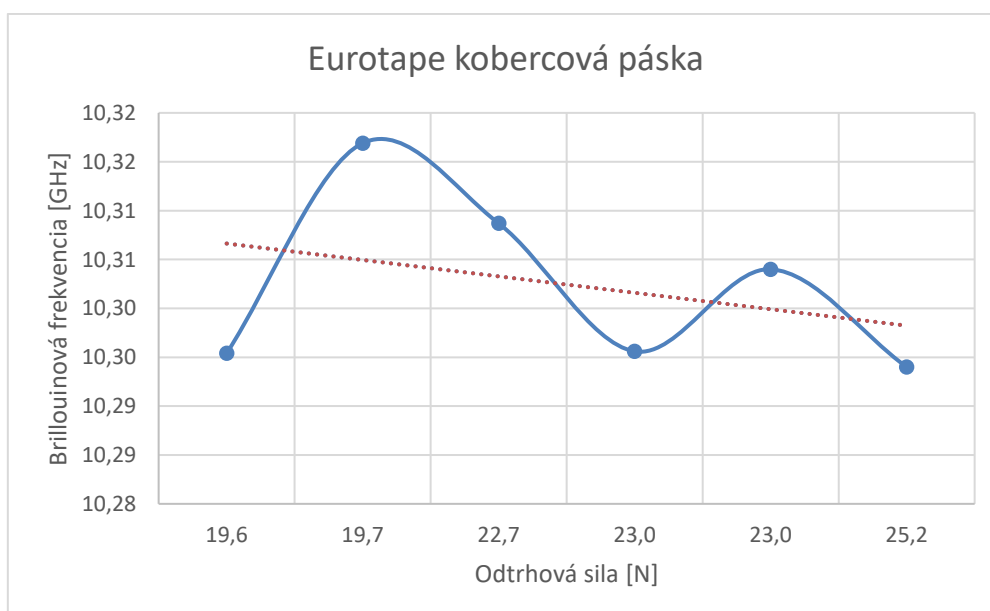
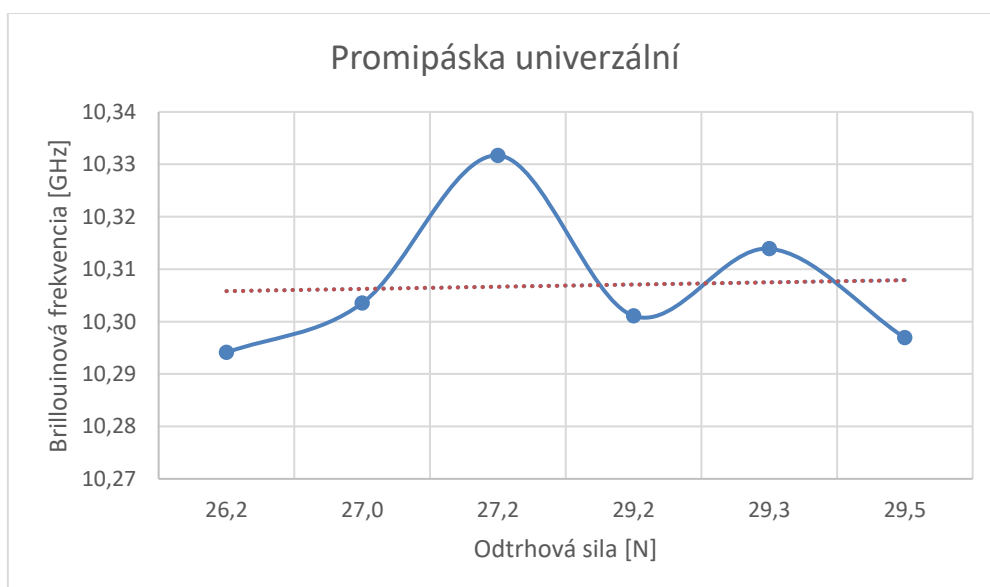
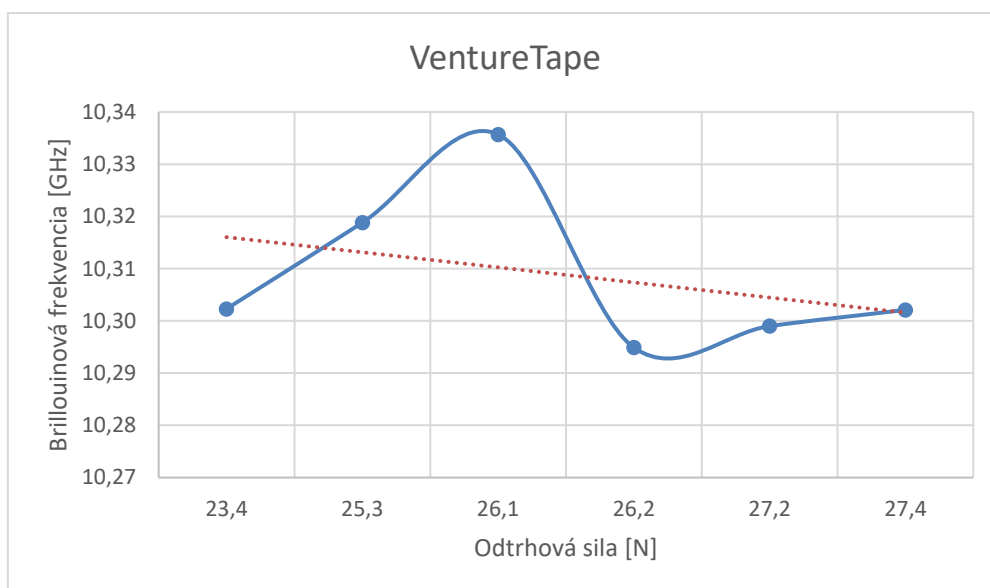
VentureTape/Marmoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	12,2	0
2.	13,4	0
3.	11,7	0
4.	13,9	0
5.	14,5	0
E(X)	13,1	0
σ	1,2	0,0
D(X)	1,4	0,0

VentureTape/Laminát		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	14,4	0
2.	12,3	0
3.	15,5	0
4.	13,6	0
5.	14	0
E(X)	14	0
σ	1,2	0,0
D(X)	1,4	0,0

VentureTape/Elektrostatik linoleum		
Meranie	Odtrhová sila [N]	Ostatková sila [N]
1.	15,4	0
2.	12,9	0
3.	17,2	0
4.	16,2	0
5.	14,7	0
E(X)	15,3	0
σ	1,6	0,0
D(X)	2,6	0,0

Príloha G: Grafy závislostí Brillouinovej frekvencie a odtrhovej sily pre vlákno č. 1





Príloha H: Grafy závislostí Brillouinovej frekvencie a odtrhovej sily pre vlákno č. 2

